C. S. Sherrington

ÜBER DEN ABLAUF EINFACHER WILLKÜRLICHER BEWEGUNGEN

(2)

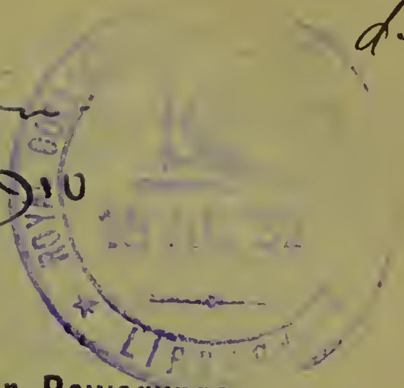
HABILITATIONSSCHRIFT
ZUR ERLANGUNG DER VENIA LEGENDI
IN DER PSYCHIATRIE VORGELEGT DER
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER
LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
ZU MÜNCHEN

VON

DR. MED. **MAX ISSERLIN**
WISSENSCHAFTLICHEM ASSISTENTEN DER PSYCHIATRISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK ZU MÜNCHEN



LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN
1910



Über den Ablauf einfacher willkürlicher Bewegungen.

Von

Max Isserlin.

Mit 53 Figuren im Text und 8 Tafeln.

Inhalt.

I. Einleitung.

Die Untersuchungen, über welche hiermit berichtet wird, sollen einen Beitrag liefern zu der Erforschung der Willensvorgänge. Sie möchten diesen Beitrag geben von einem Wege aus, welcher nur von recht wenigen der zahlreichen Arbeiten, die irgendwie Fragen des

Willens behandeln, eingeschlagen worden ist; sie wollen Bewegungen, die wir als willkürliche erleben, in ihrer äußeren Erscheinung betrachten und die Formen, in denen Willkürbewegungen erfolgen, und den genaueren zeitlichen Ablauf, welcher sie kennzeichnet, feststellen. Und sie suchen so an dem Beispiel einfachster Erscheinungen einiges über die Gesetzmäßigkeiten zu erfahren, unter denen die äußere Form der Willenshandlung Ausdruck des inneren Geschehens wird.

Die Zwangslage, in welcher sich die Psychopathologie oft den auffallendsten und bizarrsten Ausdrucksphänomenen gegenüber befindet, hat sie schon seit längerer Zeit den Wert der experimentellen Analyse der Formen des Ausdrucks schätzen gelehrt[1]); die wesentlichste Arbeit freilich, die in ihr in dieser Richtung geleistet worden ist, ist bislang dem Gebiet unwillkürlicher bzw. reflektorischer Vorgänge gewidmet worden, aber an der Überzeugung, daß auch die willkürlichen motorischen Phänomene in systematischer Weise erschlossen werden müßten, hat es darum nicht völlig gemangelt. Sie ist auch gelegentlich ausgesprochen worden, ohne daß es bisher zu eingehenderen Versuchen der Bearbeitung gekommen wäre.

In der Tat kann es nicht zweifelhaft sein, daß das Studium der äußeren Form unserer Willenshandlungen ein Problem von weittragender Bedeutung ist für die Psychopathologie nicht nur — die seiner gar nicht weiterhin entraten kann — sondern auch für die Normalpsychologie, welche Lücken in ihrem Fundament aufweist, so lange sie diese Aufgabe nicht bearbeitet hat. Wie so oft, kann uns auch hier die — schon bei ganz grober Betrachtung leichte — Feststellung auffälliger individueller Differenzen den Hinweis geben, daß hinter diesen Erscheinungsunterschieden uns verborgene Gesetzmäßigkeiten liegen müssen, welche die Verschiedenheiten bedingen.

Diese Verschiedenheiten und ihre Gesetze können uns aber nicht verständlich werden durch die experimentelle Regelung der Selbstbeobachtung allein. Was uns Problem bildet, ist ja eben die Tatsache, daß bei gleichen Aufgabestellungen und bei ungefähr gleichartigen Angaben über die Erlebnisse unter ihnen, die äußere Erscheinung der Lösung der Aufgaben eine erheblich verschiedene zu sein pflegt. Es müssen also dunkle und unbewußte Mechanismen

1) Vgl. z. B. Sommer, Lehrbuch der psychopathologischen Untersuchungsmethoden. 1899.

sein, welche diese Differenzen bedingen; diese Mechanismen zu erfassen, kann uns die Analyse des Bewußtseinverlaufes allein nicht ermöglichen.

Die äußere Form der Handlung als Ausdrucksphänomen bildet somit das Problem, das zur Bearbeitung herausfordert; Ausdrucksphänomen in dem Sinne, daß die äußere Form der Handlung nicht so ohne weiteres ein Spiegel des inneren bewußten Geschehens ist, daß es also nicht genügt, dieses letztere allein zu betrachten, um über die Gesetze unseres Handelns ins klare zu kommen. Einer theoretisierenden Psychologie liegt es nahe, in der Annahme des Vorstellungsmäßigen in dem Bewegungsentwurf des Guten zuviel zu tun, und in der Diskussion um die »Bewegungsvorstellung« hat es ja an solchen Übertreibungen nicht gemangelt. Es kann aber gewiß gar keine Rede davon sein, daß der Bewegungsentwurf auch nur annähernd die Unzahl von Mechanismen im Bewußtsein reflektiert, welche zusammen wirken, um eine korrekte, zielbewußte Handlung zustande zu bringen. Und die Analyse der motorischen Willkürerscheinungen wird sich von diesem ersten Vorurteil fernhalten müssen, daß das Bewußtsein einfach die Bahn vorzeichnet, in welcher die Bewegung dann abläuft. Wir werden vielmehr nicht daran zweifeln, daß der Bewegungsentwurf, die Bewegungsformel, um mit Liepmann zu reden, ein Gebilde ist, welches nur teilweise in das Bewußtsein hineinragt, und daß seinen Untergrund Massen von Impulsen und Innervationskomplexen bilden, welche nur dunkel oder gar nicht im Bewußtsein repräsentiert sind. Suchen wir also auch für das Problem der Bewegung die Elementarphänomene der Selbstbeobachtung mit den Elementarphänomenen des Ausdrucks zu kombinieren, so werden wir nicht übersehen, daß diese letzteren hier wie überall ein selbständiges Ganzes sind, daß sie mit den Bewußtseinsphänomenen in festen, unlöslichen Abhängigkeitsverhältnissen stehen, aber daß sie sich nicht einfach mit ihnen decken.

Andererseits werden wir aber auch die Bedeutung dieser mechanischen und unbewußten motorischen Vorgänge für unser Bewußtsein nicht zu gering anschlagen dürfen. Wir werden sie vielmehr gar nicht hoch genug einschätzen können, wenn wir berücksichtigen, wie sehr sich mehr maschinenmäßig ablaufende Momente mit bewußt

intendierten verflechten, wie überhaupt der Bewußtseinsgrad der einzelnen Vorgänge nach Aufmerksamkeitsverteilung und Übung wechselt, und wie endlich die Verhältnisse der motorischen Entäußerung dauernd rückwirkend das Gesamtbewußtsein beeinflussen müssen. Wir reden von Temperamenten und haben dabei zunächst gewisse gefühlsmäßige Eindrücke von dem motorischen Verhalten unserer Mitmenschen, wir sprechen von Grazie und Unbeholfenheit und haben dabei ähnliche unbestimmte Meinungen, wir handeln neuerdings in der Pathologie in einer unserer klinisch-diagnostischen wie allgemein pathologischen Einsicht sehr förderlichen Weise von Hemmung und Sperrung der Willensvorgänge und stehen doch noch im Beginne des genaueren Verständnisses dieser Dinge. Wir meinen ja mit all diesen Kennzeichnungen letzthin Seelisches, aber wir halten uns tatsächlich an die Gesetzmäßigkeiten körperlicher Bewegungen, und wir sind uns die Kenntnis dieser Gesetzmäßigkeiten fast noch völlig schuldig.

Es ist leicht einzusehen, daß sich der Analyse unserer Willensbewegungen sehr große Schwierigkeiten entgegenstellen. Das Problem ist wohl im wesentlichen ein psychologisches, aber in seinem Verlauf verflechten sich psychologische und physiologische Momente dauernd, und es leuchtet ein, daß es nicht leicht sein wird, in der Form der Bewegung die Wirksamkeit der verschiedenen Momente gesondert zu erfassen, auch wenn wir die Ergebnisse der Selbstbeobachtung zu Hilfe nehmen. Andererseits sind wir auch da, wo wir sicher rein physiologische Erscheinungen studieren wollen, in einer schwierigen Lage, insofern wir gezwungen sind, die komplizierten Verhältnisse am lebenden und unversehrten Menschen zu untersuchen. Und es hilft uns nicht immer aus unserer Unsicherheit, wenn wir auch uns analog erscheinende Gesetzmäßigkeiten aus dem Tierversuch zur Unterstützung unserer Erwägungen herbeiziehen.

Jedenfalls wird aus der Erkenntnis dieser Schwierigkeiten die Notwendigkeit einleuchten, mit möglichst einfachen Versuchsbedingungen zu beginnen. Wir werden alle verwickelteren Anordnungen, wie sie uns bisher manche Einsicht in das Getriebe der Willenshandlungen gewährt haben, meiden; auch der Ergograph z. B. und die Schriftwage führen uns schon in für unsere Absichten zu komplizierte Geschehnisse hinein. Es wird vielmehr für unsere Zwecke

geboten sein, uns an die elementarsten Willenshandlungen zu halten, die wir unter versuchsgemäßen Bedingungen aufzeichnen und analysieren können.

Wir stellen uns somit die Aufgabe der Untersuchung möglichst einfacher willkürlicher Bewegungen — willkürlich im Unterschiede von reflektorisch. Wir erblicken diesen Unterschied in einem kennzeichnenden Bewußtseinsverlauf, dessen weitere Erörterung nicht in dem Plane dieser Arbeit liegt. Wir vermeiden es damit, in das Getriebe der widerstreitenden Meinungen über das Willensproblem einzutreten und begnügen uns, diejenigen charakteristischen Erscheinungen des Willensvorganges im Auge zu behalten, welche für unser Problem ausschlaggebend sind. Und da wird es für uns ausreichen, festzustellen, daß bei der Willensbewegung ein komplizierter psychophysischer Verlauf durch ein besonders charakterisiertes psychisches Geschehen bestimmt wird. Dieses seelische Geschehen bezeichnen wir als Entschluß oder Entscheidung, wenn es in einem eigenen bewußten Akt besteht, der im Verlaufe der einzelnen Willensprozesse als inneres Handeln hervortritt; wir nennen es Einstellung, wenn wir darunter eine für längere Zeit wirksame Beeinflussung der psychophysischen Prozesse begreifen, welche dauernd den Ablauf in einer bestimmten Richtung sichert.

In jüngster Zeit hat insbesondere Ach[1]) das Verständnis des psychologischen Mechanismus der Einstellung gefördert, indem er zeigte, daß bei der Lösung von Aufgaben die von der einmal getroffenen Einstellung ausgehenden »determinierenden Tendenzen« einen geordneten Ablauf garantieren, ohne daß jedesmal neue entsprechende Bewußtseinshandlungen, Entscheidungen, Wahlakte einzutreten brauchen. Wir werden für die Probleme unserer Arbeit die Tatsachen der Einstellung in hervorragender Weise zu berücksichtigen haben, indem sie vor allem für den Ablauf komplizierterer mechanisierter Bewegungen maßgebend sind.

Einige Beispiele mögen das vergegenwärtigen:

Der Soldat macht »Gewehr über«. Hierbei ist der Prozeß durch die Übung vieler Einzelhandlungen im Sinne der Mechanisierung vorbereitet, das Vorkommando ruft eine Einstellung hervor, in welcher

---

1) Ach, Über die Willenstätigkeit und das Denken. Göttingen 1905.

dispositionelle psychophysische Elemente in einer bestimmten Richtung beeinflußt werden, das Kommando endlich aktiviert die Bewegungsformel und sichert den Ablauf, ohne daß neue Bewußtseinsakte der Entschließung dazwischen zu treten brauchen. — Ein anderes Beispiel, gleichfalls aus der militärischen Bewegungsmaschinerie: »Der Soldat schießt nach einem auftauchenden Ziel«. Auch hier gingen Übungsleistungen voraus, auch hier besteht eine Einstellung in bestimmter Richtung, und auch hier läßt ein letztes Signal den Vorgang nach der in der Einstellung determinierten Richtung sich entwickeln, ohne daß besondere Entscheidungsakte einzutreten brauchen.

Was den beiden angeführten Beispielen gemeinsam ist, und weshalb wir sie hier zitieren, das ist die Wirksamkeit einer aktiven Einstellung. Assoziative Übungsvorgänge allein können diesen eindeutig bestimmten Ablauf nicht erklären, wie es ja die Entgleisungen bei der ideatorischen Apraxie, bei welcher die Wirksamkeit der Einstellung[1]) mangelhaft ist, jederzeit demonstrieren.

Die Arten allerdings der Einstellung sind in den beiden angeführten Fällen sehr verschieden; der experimentierenden Psychologie sind sie in dieser Verschiedenheit wohl vertraut, und sie hat sie schon lange Zeit unter den besonderen Bedingungen der sensoriellen und der muskulären oder motorischen Reaktionen genauer zu erkennen gestrebt[2]).

Für unsere Ziele aber ist eine weitere Tatsache, die wir uns leicht aus unseren Beispielen vergegenwärtigen können, von hervorragender Wichtigkeit, die Tatsache der sehr verschiedenen äußeren Erscheinungsformen der beiden Handlungen, welche aus den verschiedenen Einstellungen entspringen. Wie Einstellung und Bewegungsform aber einander entsprechen, das ist unser Problem und nicht nur wie Einstellung, sondern wie Entschluß, Entscheidung, Willensakt überhaupt und Bewegung einander entsprechen.

Auch an dieser Fragestellung ist die Psychologie bisher nicht

---

1) Gleich: »ideatorischer Entwurf«.

2) Hierzu: L. Lange, Phil. Stud. IV., G. Martius, ebenda VI., zusammenfassend Wirth, Die experiment. Analyse der Bewußtseinsphänomene. Braunschweig 1908, S. 397 u. 403ff., Wundt, Phys. Psychol. 5. Aufl. III., S. 412ff., Bergemann, Wundts Psychol. Stud., I., S. 179, Ach, Über die Willenstätigkeit, S. 114ff.

achtlos vorübergegangen; die zahlreichen Arbeiten von L. Lange bis zu N. Ach, die das Willensproblem im Reaktionsversuch behandelten, haben vielmehr diese Frage zu beantworten gesucht. Aber sie benutzten als Charakteristikum für die Bewegungsäußerung nur ein Zeichen, die Reaktionszeit, die Form der Äußerung trat in ihren Versuchsanordnungen nicht zutage[1]).

Dabei blieb natürlich die Frage offen, welcher Art denn die Beziehungen zwischen Reaktionszeit und Bewegungsablauf seien, und ob der Reaktionszeit überhaupt eine eindeutige Zuordnung für Bewegungsform zukäme; daß sie diese nicht einfach in erschöpfender Weise kennzeichnen könne, durfte man wohl a priori annehmen. Eine wirkliche Aufklärung der Verhältnisse konnte aber nur die genaue Registrierung und Analyse des Bewegungsablaufs im Reaktionsversuch bringen.

In dieser Verbindung mit Vorrichtungen, welche es ermöglichen, die jeweilig ausgeführte Bewegung aufzuzeichnen, erscheint der Reaktionsversuch allerdings sehr geeignet für die Untersuchung des Ablaufs von Willkürbewegungen. Er muß dabei ergänzt werden durch Anordnungen, welche es ermöglichen, nicht nur einmalige, sondern auch fortlaufende Bewegungen aufzuschreiben und zu untersuchen, damit auch der Mechanismus, durch welchen einfache Willkürbewegungen aneinander gebunden werden und die Art, wie ihr Ablauf bei fortlaufender Ausführung erfolgt, studiert werden kann. Endlich müssen besondere Versuche den Bedingungen langsamer, dauernd durch Bewußtsein und Willen kontrollierter Bewegungen gerecht werden.

Auch hinsichtlich der Registrierung und Analyse des Ablaufs von Willkürbewegungen sind Vorarbeiten zu verzeichnen[2]). Die Physiologen haben solche Versuche gemacht, um über die Art der Muskeltätigkeit bzw. Innervation bei der willkürlichen Kontraktion ins klare zu kommen. Auch das Problem der Geschwindigkeit verschiedener Bewegungen, isolierter sowohl wie wiederholter, unter verschiedenen Bedingungen, die Frage der Genauigkeit der Bewegungen, ihrer Entwick-

---

1) Eine Andeutung hierzu findet sich bei Ach l. c., S. 116.

2) Hierüber eine ausreichende Zusammenstellung der Literatur bis 1903 in: Woodworth, Le mouvement. Paris (Gustave Doin) 1903. Die wichtigeren Arbeiten werden im Verlaufe der Abhandlung noch gestreift werden.

lung, der individuellen Differenzen, die sie zeigen, sind gestreift oder genauer behandelt worden. Im ganzen aber ist die Zahl der Untersuchungen nicht groß, und was ihnen fast allgemein mangelt, ist eine deutliche Erfassung des psychologischen Problems, welches in der Frage nach der Form der Willensbewegung enthalten ist. Es leuchtet aber ein, daß diese verwickelten Erscheinungen nur dann mit genügendem Erfolg bearbeitet werden können, wenn auch der psychologischen Seite in genügendem Maße Rechnung getragen wird.

So kommt es, daß diese Untersuchungen ihren eigenen Weg gehen zu müssen glauben; sie meinen es auch den verdienstvollen Untersuchungen Riegers gegenüber, denen sie mannigfache Anregung verdanken. Aber auch für Rieger ist das Problem ein anderes. Was für ihn im Vordergrunde des Interesses steht, das sind die »Muskelzustände«; auf sie beschränkt er sich mit Absicht, und die Willkürbewegung interessiert ihn vorerst gewissermaßen nur so weit, als sich in ihr bestimmte Muskelzustände entwickeln. Das Ziel aber dieser Arbeit sind Willkürbewegungen in ihrer Gesamterscheinung, ihre äußere Form im Zusammenhang mit ihrer seelischen Bedingtheit.

Rieger freilich vermeidet kompliziertere psychologische Fragestellungen, weil er es für falsch hält, an den oberen Stockwerken eines Gebäudes zu arbeiten, bevor sein Fundament hergestellt sei. Das Fundament aber der Psychologie sei die Lehre von den Muskelzuständen [1]).

Nun ist es ohne Zweifel richtig, daß die Lehre von den motorischen Erscheinungen von ganz grundlegender Bedeutung für die Psychologie sein muß; aber es erscheint gar nicht möglich, ein Problem der Zuständlichkeit bei diesen Erscheinungen von dem, was wir als Aktivität in ihnen auffassen, abzusondern. Es ist wohl sicher, daß wir, am lebenden und unversehrten Menschen wenigstens, vorerst keine Versuchsanordnung herzustellen wissen, die uns ermöglichte, rein passive Lagen und Bewegungen herzustellen, welche nicht dauernd durch unwillkürliche Innervationen beeinflußt würden. Gerade Riegers Untersuchungen scheinen diese Tatsache näher aufgeklärt zu haben. Verhält es sich aber so, dann ist es noch durchaus nicht ausgemacht, daß die passiven Verhältnisse »Zustände« un-

---

1) Rieger, Untersuchungen über Muskelzustände. Jena (Fischer) 1906.

verwickelterer Art darböten, als einfache Willensbewegungen. Gewiß wäre es zweckmäßiger, wir hätten für diese Fragen eine genauer durchgearbeitete physiologische Grundlage, als wir sie zurzeit besitzen. Da wir sie aber noch nicht haben, und da auch ihre Gewinnung kaum sehr schnell zu erreichen sein wird, zwingen uns die Verhältnisse, die Aufgabe der Untersuchung menschlicher Willensbewegungen eben so zu erfassen, wie sie uns der Moment darbietet. Einfach vernachlässigen dürfen wir sie weiterhin nicht. Sobald wir sie aber behandeln, können wir sie nur als das behandeln, was sie wirklich ist — als ein psychophysiologisches Problem.

Mit dieser Auffassung begeben wir uns in die Erörterung der Einzeluntersuchung und behandeln in einzelnen Abschnitten:

1. einmalige Bewegungen unter verschiedener Einstellung,
2. fortgesetzte und fortlaufende,
3. langsame, dauernd regulierte Bewegungen.

In den einzelnen Teilen werden in Unterabteilungen nebeneinander jeweils die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten und die individuellen Differenzen erörtert werden.

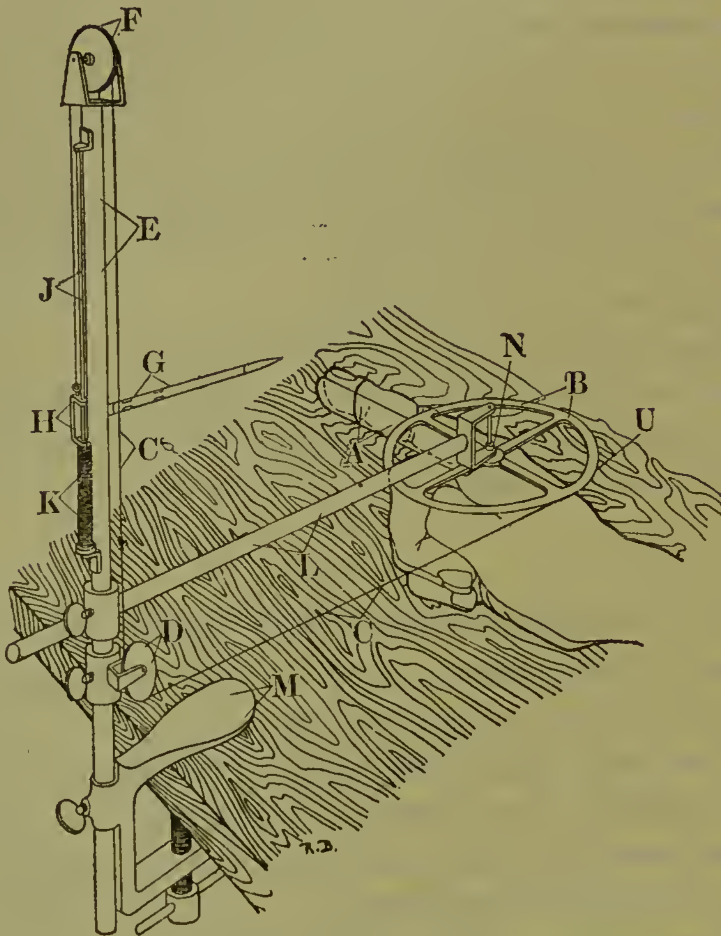
II. Allgemeine Versuchsanordnung und Apparat.

Es wurden zunächst Bewegungen des rechten Zeigefingers untersucht. Ein besonderer Apparat ermöglichte es, die Bewegungen des gestreckten und nur im Gelenk zwischen Metacarpus und Grundphalanx beweglichen Fingers aufzuschreiben. Es schien zweckmäßig, sich bei den ersten Versuchen in dieser Weise einzuschränken und möglichst unkomplizierte Verhältnisse mit nur nach einer Richtung gegebenen Bewegungsmöglichkeit zu benutzen.

Der für die Experimente verwendete Apparat, dessen technische Idee von Dr. Weiler stammt, und der in der Fabrik für Präzisionsinstrumente von M. Sendtner-München hergestellt wurde, hatte folgende Form (vgl. Abbildung):

Über einer Aluminiumschiene *A*, welche in ihrer Länge, Breite und Form etwa den Maßen eines größeren Zeigefingers angepaßt ist, befindet sich ein Aluminiumrad *B*. Die Schiene ist in ihrer Breite etwas gewölbt, so daß sich der Zeigefinger bequem in sie hineinlegen kann. Das auf der Schiene befestigte Rad *B* hat einen Umfang von

360 mm, seine Peripherie wird durch einen gehöhlten Rand *U* gebildet, in welchem ein Faden bequem laufen kann. Ein solcher Faden *C* aus dünner, fester Seide ist an einer Spange des Rades möglichst in der Nähe der Schiene befestigt; er läuft etwa um $^{3}/_{4}$ des Umfanges des Rades herum, geht über ein zweites Rad *D* und führt dann zu einem Gestell *E*, wo er über ein drittes Rädchen F



läuft, um an einem Aluminiumhebel *G* zu endigen, an welchem eine leichte Rohrfeder mit Schreibespitze befestigt ist. Dieser Aluminiumhebel *G* läuft mit Hilfe zweier kleiner durchbohrter Aluminiumplatten *H* auf einer stets gut geölt zu haltenden Schiene *J*, die an dem Stativ *E* befestigt ist. Der Hebel *G* bewegt sich also bei Bewegungen der an dem Finger befestigten Schiene *A* und wird hierbei einerseits durch den Faden *C*, andererseits durch eine unten an ihn angreifende, ganz leicht spannende Feder *K* gehalten. Der Hebel *G* bewegt sich somit infolge der Rollenübertragung um genau dieselbe

Strecke auf- bzw. abwärts, als sich die Peripherie des Rades B verschiebt. Da aber der Umfang des Rades B 360 mm ist, so entspricht einer Verschiebung des Radumfangs um ein mm eine Bewegung der Schiene A um einen Winkelgrad, und da Radverschiebung und Hebelbewegung einander entsprechen, so kann man aus der Höhe der Hebelbewegung in Millimetern direkt die Winkelverschiebung der Schiene in Graden entnehmen.

Rad B und Schiene A sind mit Hilfe einer Klammer an der Stange L befestigt, welche in einer Zwinge am Stativ E verschieblich ist. So kann das ganze System reguliert werden, um eine bequeme Lage für Hand und Finger zu erreichen. Die Spannung des Fadens C, der immer straff angezogen sein muß, wird außer durch Verschiebung der Stange L auch durch Verstellung des Rädchens D erreicht. Die Feder K soll nur einen ganz leichten Zug ausüben; dann ist bei Bewegungen des Fingers keinerlei Arbeitsleistung spürbar; es unterscheiden sich dann auch Hin- und Rückbewegung nicht merklich durch Differenzen des Kraftaufwandes bei dem geringen Widerstand, welchen die Feder darbietet. Bei den Versuchen wurde die Hand mit gestrecktem Zeigefinger und zusammengeschlagenen übrigen Fingern unter das Rad B gestellt. Das sämtliche Teile tragende Stativ E wurde in einem Schraubengestell M so verschoben, daß die Achse des Fingermetacarpusgelenks ungefähr mit der Achse N des Rades B zusammenfiel. Der Finger wurde mit seiner Beugefläche in die Höhlung der Schiene A gelegt und durch mehrere Gummischlingen auf der Schiene befestigt. Dabei wurde darauf geachtet, daß keine Mißempfindungen durch Druck der Gummischlingen entstanden. Eine Beugung des Fingers bewirkte bei dieser Anordnung eine Hebung des Hebels G um die der Winkelverschiebung der Schiene bzw. des Fingers entsprechende Millimeterzahl. Für manche Versuchspersonen zeigte es sich zweckmäßig, der Hand unter dem Rade B einen festen Halt zu geben, indem man einen auf einem Brett befestigten Holzstab mit Daumen und drei letzten Fingern umfassen ließ. Der Holzstab mußte natürlich ganz kurz sein und durfte den gestreckten Zeigefinger in seiner Bewegung nicht behindern.

Infolge des geringen Gewichtes des angewandten Materials gingen die Bewegungen mit voller Leichtigkeit, ohne wesentliche Behinderung durch Eigenschwingungen des Systems vor sich. Eine Prüfung

auf Schleuderungen zeigte, daß solche auch bei schnellen, ruckweisen Bewegungen nicht merklich waren und die Bewegung des Hebels in mm gemessen nie die Winkelverschiebung der Schiene in Graden nennenswert überstieg.

Bei Ausführung der Versuche mußte immer darauf geachtet werden, daß der Finger vor Beginn der Bewegungen sich in Streckstellung befand. Auch den Gummischlingen war einige Sorgfalt zu widmen, weil sie den Finger in seinen beiden Gelenken gestreckt an der Schiene erhalten sollten und keine Behinderung durch Druckempfindungen bewirken durften. Das ließ sich aber ohne Schwierigkeit stets erreichen. — Bei den Experimenten lag der Unterarm bequem auf einem Tisch, das Handgelenk in Streckstellung, der Zeigefinger vor Beginn des Versuchs gleichfalls gestreckt, die übrigen Finger waren zusammengeschlagen und die Hand ruhte mit der lateralen Seite ebenfalls auf dem Tisch. Dabei umfaßte sie für gewöhnlich, so lange noch nicht große Übung bestand, den kleinen Holzstab. Diese letztere Vorkehrung erwies sich auch völlig ausreichend zu einer Fixierung des Handgelenkes, so daß sich nur in seltenen Fällen eine weitere Sicherung desselben und niemals eine Eingipsung, wie anfangs beabsichtigt, als nötig erwies.

Die Bewegungen wurden auf einem Kymographion mit Heringscher Schleife aufgeschrieben[1]). Das Kymographion wurde zur Erzielung höherer Geschwindigkeiten durch einen Elektromotor getrieben; es standen, infolge besonderer Vorrichtungen, mehrere Geschwindigkeitsstufen zur Verfügung. Eine Stimmgabel schrieb die Zeit, Registrierapparate markierten die Signale usw.

Die gewonnenen Kurven wurden zur weiteren Verrechnung genau ausgemessen. Hierfür besitzt das Laboratorium der Klinik einen sehr praktischen Apparat, durch welchen die Kurven epidiaskopisch vergrößert auf eine große Mattscheibe projiziert, dort mit Hilfe einer in der Richtung der Koordinaten verschiebbaren Meßvorrichtung gemessen, dann auf ihre wahren Werte reduziert werden.

---

1) In der letzten Zeit stand ein solches Kymographion mit besonders langem, verschiebbaren Abstand der Trommeln zur Verfügung, welches ermöglichte, ziemlich umfangreiche Bewegungsserien aufzunehmen.

III. Der Ablauf der Bewegungen.

A. Einmalige kurze Bewegungen unter verschiedener Einstellung.

Für diese Versuche wurde das Verfahren des Reaktionsexperimentes benutzt. In einem für solche Zwecke gebräuchlichen »Kartenwechsler« wurden weiße oder mit Worten oder sinnlosen Silben bedruckte Karten exponiert. Der Moment der Exposition wurde auf dem Kymographion verzeichnet, eine Stimmgabel schrieb die Zeit. Die Instruktion für die verschiedenen Einstellungen wurde in besonderer Weise geregelt. Für die motorischen Versuche lautete sie etwa: »Es wird 2—3 Sekunden nach dem Vorsignal (jetzt) eine Karte erscheinen. Sie sollen, wenn die Karte erscheint, unverzüglich eine Fingerbewegung (Beugung) machen. Sie sollen sich bei der Betrachtung der Platte nicht aufhalten, sondern möglichst unmittelbar die Bewegung beginnen. In der Vorbereitungszeit denken Sie möglichst nur an die Bewegung.« Für die sensorischen Versuche hatte die Belehrung etwa die Form: »Es wird eine Karte erscheinen; Sie sollen das auf ihr Gedruckte genau erkennen und sobald sie gelesen haben eine Bewegung anschließen. Sie sollen in der Vorbereitung sich möglichst darauf einstellen, das Wort genau zu erfassen.« Bei dieser Form der Instruktion glauben wir der Art der Einstellung gerecht geworden zu sein, ohne die Erfordernisse des Reaktionsversuchs zu stören. Es ist nämlich kürzlich besonders von Wirth[1]) bei der Diskussion neuerer Reaktionsversuche darauf aufmerksam gemacht worden, daß, wenn man in der Anweisung für die sensoriellen Versuche, die Aufgabe zu sehr auf die Erfassung des Dargebotenen richtet, der Versuch den Charakter des Reaktionsexperimentes verlöre, weil die Versuchsperson nicht mehr bestimmt würde, unmittelbar nach Erfassung des Eindrucks zu reagieren. Dieser Einwand trifft unsere Versuche nicht, bei welchen die Versuchspersonen, wenn nötig, noch des genaueren belehrt wurden, daß sie ohne weiteren Verzug nach genauer Erkennung des Eindrucks die Bewegung auszuführen hatten. Der Umfang und auch das Tempo der Bewegung selbst wurden der

1) Kaestner und Wirth, Psychol. Stud. herausgeg. v. Wundt III, S. 366, Deuchler ebenda IV, S. 353 ff.

Versuchsperson überlassen. Die Instruktion lautete nur: »unverzüglich eine Bewegung«. Diese allgemeine Anweisung wurde bisweilen noch durch besondere Aufgaben ergänzt, z. B. wurden bei den motorischen Versuchen hin und wieder auch Bewegungen von einer gewissen Größe verlangt oder »möglichst schnelle und ausgiebige Bewegungen«. Solche Versuche wurden aber dann besonders gebucht und behandelt.

Bei allen Versuchsreihen wurden »negative« oder Vexierversuche eingeführt. Sie dienten bei den motorischen Reihen als Überraschungsreize, bei den sensorischen als Kontrolle[1]) der Einstellung. Eine Einstellung wurde erst dann als sensorisch angesehen, wenn in den Vorversuchen Vexierreize keine Reaktion auslösten. Bei manchen Versuchspersonen, welche so sehr zu motorischer Einstellung neigten, daß sie trotz aller Aufforderung, erst das Gedruckte zu erkennen, weiße Karten mit Reaktionen beantworteten, wurden Assoziationsreaktionen zu Hilfe genommen, um eine rein sensorische Einstellung zu sichern. Auch bei anderen Versuchspersonen wurden solche Reihen hin und wieder eingeschoben.

Die Versuchsreihen selbst konnten infolge der Art der Anordnung und Registrierung nicht eine solche Ausdehnung erhalten, wie sie sonst bei Reaktionsversuchen üblich und notwendig ist. Es wurden jedesmal von jeder Einstellung 10—20 Einzelreaktionen aufgeschrieben. Vor diesen wurden mit der Vp. eine Anzahl von Experimenten ausgeführt, ohne daß das Kymographion lief. Diese nur markierten »Vorversuche« hatten den Zweck die Einstellung zu sichern und ihre Kontrolle zu ermöglichen (Vexierversuche). Es wurde an den einzelnen Versuchstagen mit den einzelnen Personen gewöhnlich, jedoch nicht immer, mit beiden Einstellungen experimentiert. Es war bei der Art unserer Experimente nicht zu vermeiden, daß die für Reaktionsversuche sehr förderliche Vorschrift des Arbeitens in getrennten Räumen nicht eingehalten werden konnte. Jedoch ist wohl bei den Zielen dieser Arbeit die Nichtbeachtung dieser Vorschrift nicht von solchem Belang, als bei Untersuchungen, wo es nur auf die statistische Verarbeitung großer Reihen von Reaktionszeitwerten ankommt.

---

1) Über die Bedeutung von »Kontrollreizen« siehe die Ausführungen von Kaestner und Wirth und Deuchler a. a. O.

Die Versuche wurden im Verlauf der Zeit vom Frühjahr 1907 bis zum Herbst und Winter 1908, einige Nachversuche auch noch 1909 ausgeführt. Die meisten Versuchspersonen sind in größeren Abständen viele Monate hindurch zu den Untersuchungen herangezogen worden. Damit dürfte wohl, besonders in Hinsicht der Feststellung individueller Differenzen, ein großer Grad von Sicherheit erreicht worden sein.

Versuchspersonen waren: Die Herren

Prof. Dr. Alzheimer, Dr. Bernfeld, Dr. Hirt, Dr. Holzmann, Verf. selbst, Privatdozent Dr. Karmin, Prof. Dr. Kraepelin, Dr. Palmberger, Privatdozent Dr. Plaut, Dr. Rehm, Privatdozent Dr. Rüdin, Privatdozent Dr. Specht, Dr. Treumann; die Damen: Frau Dr. Moers, Frau Dr. Bernfeld.

a) Allgemeine Gesetze der Schnelligkeitskurve der Bewegungen.

Wir beschäftigen uns zunächst mit der Frage nach der Geschwindigkeit der Bewegungen, mit den Grenzen der Schnelligkeit, zwischen denen die versuchsmäßig betrachteten Fingerbeugungen und -streckungen stattfanden und mit der Art, wie die Geschwindigkeiten sich entwickelten und aufhörten.

Einige frühere Untersuchungen sind hier zu referieren: Als erster wohl hat W. Camerer ähnliche Fragen behandelt in seiner Dissertation (Tübingen 1866): Versuche über den zeitlichen Verlauf der Willensbewegung[1]. Seine Arbeit entstand im Zusammenhang mit den Untersuchungen über den Zeitsinn, die Vierordt damals beschäftigten und spiegelt diesen Zusammenhang wieder. Insbesondere interessierte ihn der Einfluß der Zeitschätzung auf den Ablauf und der Zusammenhang zwischen der gewollten und wirklich ausgeführten Bewegung.

Es sei aus seinen Ergebnissen einiges für unser Thema Wichtige angeführt.

Camerer untersuchte Beugungen und Streckungen des Unterarms im Ellenbogengelenk, welche mit Hife eines von Vierordt für andere Zwecke angegebenen Apparates auf einem Kymographion

---

1) Auch referiert in Vierordt, Der Zeitsinn, Tübingen 1868, S. 88.

registriert wurden. Er zeichnete langsame und schnelle Bewegungen auf, welche jeweilig als »gleichmäßige«, als »beschleunigte« oder als »verzögerte« beabsichtigt wurden. Die regelmäßigsten Resultate ergaben die als beschleunigt intendierten Bewegungen.

Die Größe des in diesen Versuchen durchlaufenen Weges betrug 20—77 mm, die dazu verbrauchte Zeit schwankte zwischen 2—7 Sek. Bei all diesen »beschleunigten« Bewegungen, langsameren sowohl, wie schnelleren, trat eine bestimmte Gesetzmäßigkeit des Verlaufes zutage insofern, als die Bewegungen als gleichmäßig beschleunigt erschienen, d. h. der Zuwachs an Geschwindigkeit in den einzelnen Zeitteilen ein konstanter war. Im Anfang der Bewegung trat in den Versuchen von Camerer eine größere Beschleunigung zutage, am Schlusse derselben zeigte sich der Einfluß der Arretierung, in der Mitte des Verlaufs kam jedoch die Bewegung einer gleichmäßig beschleunigten sehr nahe. Bei den willkürlich verzögerten Bewegungen konnte C. eine analoge Gesetzmäßigkeit nicht nachweisen, hier erreichte vielmehr der Einfluß der Arretierung nach kurzer Zeit einen hohen Grad, um dann im weiteren Verlauf nur wenig merklich zu werden. Die als gleichmäßig beabsichtigten Bewegungen endlich zeigten eine bedeutende Geschwindigkeitszunahme in ihrem Anfangsteil, einen längeren mittleren Teil mit annähernd konstanter Schnelligkeit und einen kurzen Schlußteil, in welchem die Arretierung als Geschwindigkeitsabnahme merklich wurde. Die Hälfte des Weges war bei einem großen Teil der Bewegungen etwa in der Hälfte der Zeit zurückgelegt; doch zeigten sich hier Verschiebungen, besonders in der Richtung, daß bei Bewegungen, welche über zwei Sekunden dauerten, die Geschwindigkeit in der zweiten Hälfte größer war als in der ersten. Überhaupt waren bei den einzelnen Versuchen Unterschiede in der Verteilung des Anwachsens der Geschwindigkeit bei Beginn und ihrer Verzögerung am Schluß der Bewegung nachzuweisen. Bei den Extensionen soll die Arretierung leichter erfolgen als der Beginn, bei den Flexionen umgekehrt. — Aus seinen Versuchen glaubte Camerer schließen zu dürfen, daß die gleichmäßig beschleunigte Bewegung die ungezwungenste Form des Willenseinflusses darbiete, indem bei ihr das die Bewegung unterhaltende Agens fortwährend gleich stark wirke. Er meinte, daß alle nicht absichtlich anders geregelten Bewegungen einen gleichmäßig beschleunigten Verlauf an-

nehmen. Alle anderen Bewegungen seien gewissermaßen durch besondere Hemmungen und Regelungen bewirkte Modifikationen dieser ursprünglichsten und natürlichsten Bewegungsart[1]).

Nach Camerer sind dann noch einmal Loeb und Koranyi[2]) auf den allgemeinen Ablauf der Willkürbewegungen eingegangen. Sie benutzten einen Apparat, bei dem ein Metallgriffel auf durch Holzplatten voneinander getrennten Metallstreifen einen elektrischen Kontakt bildete. So konnten sie die Geschwindigkeit, mit der mit diesem Griffel längs einem Lineal Linien quer über die Metallstreifen gezogen wurden, registrieren. Die Linien wurden in senkrecht zum Erdboden oder von diesem fort gerichteten Armbewegungen gezogen, ohne daß eine bestimmte Geschwindigkeit vorgeschrieben war. Die Resultate von L. und K. bestätigen die Angaben Camerers von der gleichförmig beschleunigten Form unserer Bewegungen nicht; L. und K. fanden vielmehr, daß die geradlinigen Willkürbewegungen durchweg anfangs mit zunehmender, dann mit konstanter, endlich mit abnehmender Geschwindigkeit erfolgten, also in ihrem Ablauf etwa den Formen Camerers entsprachen, welche als gleichmäßig beabsichtigt waren. Nur daß bei L. und K. die Strecke gleichmäßiger Geschwindigkeit kürzer war, etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ der ganzen Zeitdauer währte. Diese Forscher stellten ferner wie Camerer fest, daß die Hälfte des Weges auch ungefähr in der ersten Hälfte der Gesamtdauer der Bewegung zurückgelegt wurde, und daß die Wirkung der Schwerkraft auf den zeitlichen Verlauf der geradlinigen Armbewegung durch Muskelkontraktionen, welche (reflektorisch) durch die Schwerkraft ausgelöst werden, nahezu völlig kompensiert wird. Infolgedessen bleibt der zeitliche Verlauf der Bewegungen nach aufwärts fast der gleiche wie nach abwärts, selbst bis zu einer Belastung von 5 kg.

Das Problem der Geschwindigkeit des Bewegungsablaufs behandelten auch Binet und Courtier[3]), welche verschiedene Bewegungen, besonders Schreibbewegungen, mit einer in einem bestimmten Tempo durch einen elektrischen Strom an ihrer Spitze hin und her bewegten

1) So auch neuerdings Zeitschr. f. Biologie 47, 1906, S. 268 ff.

2) Über den Einfluß der Schwerkraft auf den Verlauf der Willkürbewegung. Pflügers Archiv XLVI, 1889.

3) Sur la vitesse des mouvements graphiques. Rev. philos. 35, 1893, S. 664 ff.

»elektrischen Feder von Edison« ausführten. Auch diese Forscher stellten fest, daß die Bewegungen mit allmählich wachsender Geschwindigkeit beginnen, in der Mitte eine etwa gleichförmige Schnelligkeit erreichen und am Schlusse unter allmählicher Verzögerung enden[1]). Genauere Zahlenwerte haben diese Autoren nicht angegeben. Sie fanden ferner, daß die Geschwindigkeit ganz unwillkürlich gesteigert wird, wenn man größere Bewegungen macht; dies gilt besonders auch für Buchstaben, welche infolgedessen trotz ihrer verschiedenen Größe in ungefähr der gleichen Zeit geschrieben werden; eine Tatsache, die später durch die Schriftwageversuche der Schule Kraepelins mehrfach bestätigt wurde. Jede Richtungsänderung wirkte als Bremsung und verminderte die Geschwindigkeit; je mehr Aufgaben die Bewegung zu erfüllen hatte, um so langsamer erfolgte sie. Auf andere Resultate von Binet und Courtier wie von Loeb und Koranyi wird späterhin noch eingegangen werden.

Hier seien nur noch einige weitere Daten erörtert, welche sich auf den allgemeinen Ablauf von Bewegungen beziehen. Für diesen ist es von Bedeutung, von welchem Gliede bzw. welchen Muskeln eine Bewegung ausgeführt wird. McAllister[2]) hat gezeigt, daß man eine Bewegung von 1 cm Länge schneller mit dem ganzen Arm vollführen kann, als nur im Handgelenk oder Finger. Ferner sind augenfällige Unterschiede festgestellt worden, die von der Richtung abhängen, in welcher die Bewegung ausgeführt wird. Binet und Courtier fanden die Bewegungen von unten nach oben und von links nach rechts am schnellsten; Camerer glaubte, daß Bewegungen in der Richtung von uns fort mit dem Gefühl größerer Freiheit vor sich gingen, als solche auf uns zu; am genauesten hat diese Unterschiede McAllister an den Bewegungen der rechten Hand studiert und ein exaktes kartographisches Bild von ihnen entworfen. Die schnellsten Bewegungen sind danach die nach vorn und außen und die nach innen und hinten geführten. Da unsere Versuche nur mit einem Gliede und in einer Richtung ausgeführt sind, brauchen wir uns mit diesen Tatsachen nicht weiter zu beschäftigen.

---

1) Ähnliches fand Zoth am Ergographen; Zoth, Über die Form der Arbeit am Mossoschen Ergographen, Pflüg. Archiv 112, 1906, S. 311 ff.

2) Studies from the Yale Psychological Laboratory, 1900, VIII, 46, zitiert Woodworth S. 336.

Dagegen seien einige Daten aus unseren Versuchen zur Klärung der Frage nach dem allgemeinen Ablauf der Bewegung hierher gestellt. Ist es richtig, daß die Form unserer Bewegungen, wenn sie ohne Zwang ausgeführt werden, sich der Kurve einer gleichmäßigen Beschleunigung annähern?

Die folgenden 4 Kurvenpaare (Textfig. 1—4) stellen 4 verschiedene Bewegungen dar, welche von 3 Versuchspersonen stammen. Die Exkursionsgröße schwankt zwischen 40 und 80; ebenso ist die Durchschnittsgeschwindigkeit eine verschiedene. Auf die Einstellung, unter der diese Bewegungen erfolgten, braucht hier zunächst nicht eingegangen zu werden. Es handelt sich sowohl um motorische wie sensorische Reaktionen, wie um langsam ausgeführte, gleichmäßig fortgesetzte Bewegungen; es sei hier nur der allgemeine Bewegungsablauf betrachtet, und für diesen war bei den hier wiedergegebenen Bewegungen, wie überhaupt, keine bestimmte Weisung gegeben, vielmehr Schnelligkeit und Größe der Exkursion durchaus der Versuchsperson überlassen. In den Textfiguren sind die Resultate der genaueren Ausmessung der Kurven niedergelegt. Die Zahlen der Abszissenachse bezeichnen die Zeit in $^1/_{100}$ Sek. (bei Fig. 4: $^1/_{50}$ Sek.); die Ordinaten geben in den Fig. 1a—4a die in jedem Zeitteil zurückgelegte Wegstrecke in Winkelgraden an; in den Fig. 1b—4b zeigen sie an, wieviel mehr an Weg in jeder $^1/_{100}$ Sek. bzw. $^1/_{50}$ Sek. gegenüber der vorhergehenden zurückgelegt worden ist. Die negativen Werte bezeichnen dabei Verzögerungen (die Fig. 1b—4b haben also als Ordinaten die Differenzen der Ordinaten der Fig. 1a—4a). Die Textfig. 1a—4a stellen somit Geschwindigkeitskurven dar, die Textfig. 1b—4b Beschleunigungskurven[1]).

Betrachten wir die Parallelkurven 1 bis 4, von denen 1 bis 3 (a, b) Flexionen, 4a und b eine Extension des Zeigefingers darstellen. Die Buchstaben G.-B. (Gesamt-Bewegung) zeigen uns, wieviel Grade der Finger überhaupt gebeugt bzw. gestreckt worden ist; D.-G.

1) Wir werden im Verlaufe der Arbeit dauernd unterscheiden: 1. Bewegungskurven, d. h. die ursprünglich beim Versuch aufgenommenen; 2. Geschwindigkeitskurven, bei welchen als Ordinaten die in jedem Zeitteil zurückgelegten Wege eingetragen sind; 3. Beschleunigungskurven, bei denen die Differenzen der Wege die Ordinaten bilden. Die Beschleunigungskurven sind solche natürlich nicht in streng mathematischem Sinne, sondern nur grobe Annäherungen.

bezeichnet die Durchschnittsgeschwindigkeit. Ein Blick auf die Kurven lehrt, daß es allerdings richtig ist, daß die Bewegung eine bestimmte

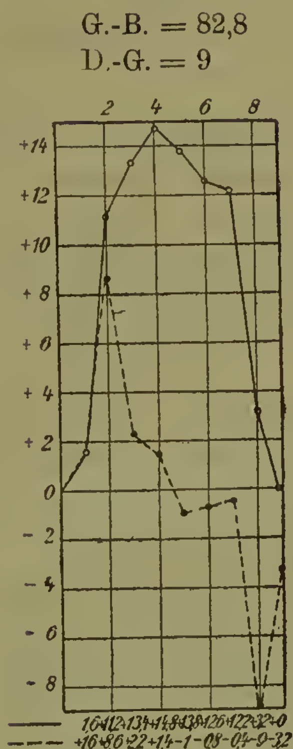


Fig. 1a und 1b.

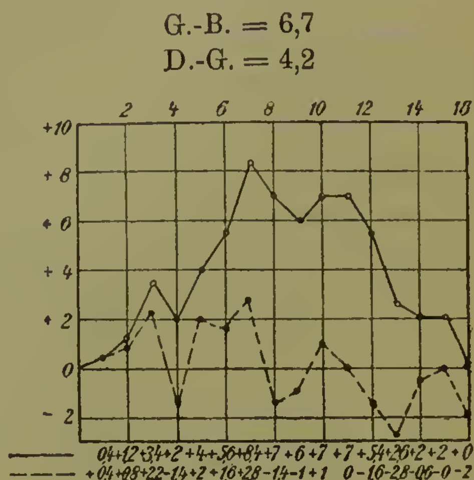


Fig. 2a und 2b.

G.-B. = 58
D.-G. = 11,6

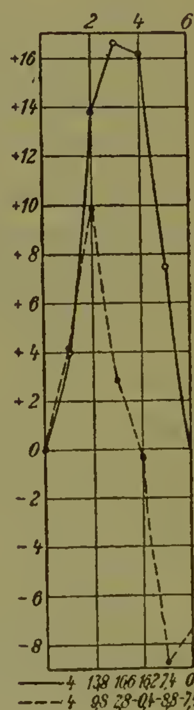


Fig. 4a und 4b.



G.-B. = 42°
D.-G. = 2,6

Fig. 3a und 3b.

In den Figuren 1—3 bezeichnen die Zahlen der Abszissenachsen die Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden. Die Ordinaten geben in den Figuren 1a—3a den in jedem Zeitteil zurückgelegten Weg; in den Figuren 1b—3b sind die Differenzen der in jedem Zeitteil zurückgelegten Wege als Ordinaten eingetragen (Beschleunigungskurven). In den Figuren 4a und 4b bezeichnen die Zahlen der Abszissenachse $^1/_{50}$ Sekunden. Infolgedessen sind die entsprechenden Wegordinaten höher. 4a ist Geschwindigkeits-, 4b Beschleunigungskurve. Es handelt sich um eine Streckbewegung. G.-B. = Gesamtbewegung. D.-G. = Durchschnittsgeschwindigkeit. —— jeweils = a, - - - = b.

Zeit braucht, bis sie sich zu voller Geschwindigkeit entwickelt, ebenso, daß sie nicht auf der Höhe der Schnelligkeit angehalten wird, sondern, daß sie einer gewissen Zeit für die »Bremsung« bedarf. Eine genauere mathematische Gesetzmäßigkeit läßt sich aber bei diesen Kurven nicht feststellen; keinesfalls ist zuzugeben, daß in ihnen eine gleichmäßige Beschleunigung zutage trete; das zeigen besonders die Beschleunigungskurven deutlich. Wäre es richtig, daß der in jedem Zeitteil hinzukommende Geschwindigkeitszuwachs eine konstante Größe hätte, dann müßten in den Beschleunigungskurven von einem bestimmten Punkt, von welchem eben die Bewegung eine gleichmäßig beschleunigte sein soll, ab, die Endpunkte der Ordinaten eine der Abszisse parallele gerade Linie bilden (wie man sich leicht an dem Paradigma der Fallbewegung vergegenwärtigen kann). Davon ist hier keine Rede. In der Bewegung Fig. 1 z. B. wächst die Geschwindigkeit sehr schnell an (damit ebenso die Beschleunigung), schwankt dann in der dritten bis zur sechsten hundertstel Sekunde um einen konstanten Wert (damit nähert sich die Beschleunigungskurve der Abszissenachse und bewegt sich um sie herum) und nimmt dann von der siebenten hundertstel Sekunde an sehr schnell ab; die Beschleunigungskurve erreicht sehr hohe negative Grade. Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Kurven 4a und b, welche in $^1/_{50}$ Sek. ausgemessen sind.

Nach der Betrachtung dieser Kurven könnte man sich keineswegs der Ansicht Camerers, eher der von Loeb und Koranyi und von Binet und Courtier anschließen, nach welchen auf der Höhe der Bewegung eine konstante Geschwindigkeit eingehalten wird. Man wird, wenn man die später angeführten, zahlreichen Einzel- und Durchschnittskurven vergleicht, welche in $^1/_{50}$ Sek. ausgemessen sind, immerhin einen Teil von Bewegungen finden, die sich den von Loeb und Koranyi angegebenen Verhältnissen wenigstens annähern. Solche, welche der von Camerer behaupteten Gesetzmäßigkeit entsprechen, wird man kaum feststellen können. Nun ist allerdings zu berücksichtigen, daß die bei unseren Experimenten ausgeführten Bewegungen meistens sehr viel schneller waren, als die in den Versuchen der genannten Forscher beobachteten. Die Daten sind nicht streng vergleichbar, da es sich bei unserer Versuchsanordnung um Winkelgeschwindigkeiten, bei Camerer sowohl wie bei Loeb und Koranyi um lineare Verschiebungen handelt, deren Reduzierung auf die Winkelgrößen

infolge des Mangels der Angabe genauerer Daten nicht möglich ist. Überdies sind die Bewegungen bei Camerer im Ellbogengelenk, bei Loeb und Koranyi mit dem ganzen Arm (im Schultergelenk), in unseren Versuchen im Metacarpophalangealgelenk ausgeführt, wodurch die Vergleichbarkeit der Werte noch weiter beeinträchtigt wird. Versucht man es aber, sich einen ganz ungefähren Vergleich zu ermöglichen, indem man die angegebenen Strecken als Sehnen von Kreisen ansetzt, in denen ungefähr dem Arm bzw. Unterarm entsprechende Maße Radien sind, und dann die zugehörigen Winkel berechnet, so ergibt sich, daß die höchsten Geschwindigkeiten unserer Bewegungen zehnmal so groß waren, als die bei Loeb und Koranyi, welche ihrerseits die bei Camerer erreichten weit übertrafen.

Aber auch von unseren Versuchen mit langsameren Bewegungen, wie sie später geschildert werden sollen, kann man nicht behaupten, daß sie so einfache Ergebnisse hinsichtlich des Schnelligkeitsablaufs liefern, wie die von Camerer und von Loeb und Koranyi berichteten, wenn auch die Annäherungen gerade hier an die von Loeb und Koranyi gefundenen Verhältnisse größere sind. Diese letzteren Forscher betonen auch, daß ihre Ergebnisse sich von denen Camerers in dem Punkte unterscheiden, daß die Periode konstanter Geschwindigkeit, die im Ablauf der von ihnen ausgeführten Bewegungen zutage trat, eine wesentlich kürzere war, als in den Versuchen Camerers mit beabsichtigter »konstanter Geschwindigkeit«. Wir müssen uns auch in diesem Punkte Loeb und Koranyi anschließen; so weit es in unseren Kurven Strecken gibt, welche in groben Annäherungen konstante Geschwindigkeiten zeigen, handelt es sich immer nur um kurze Teile der Gesamtbewegung, die höchstens ein Viertel bis ein Drittel derselben ausmachen. Daß dem so ist, liegt daran, daß sehr bald, nachdem sich die Geschwindigkeit voll entwickelt hat, auch wieder Einflüsse merklich werden, die sie herabsetzen. Diese Einflüsse sind besonders für den Ablauf schneller Bewegungen maßgebend und sollen sogleich im nächsten Abschnitt näher betrachtet werden. Bei langsamen Bewegungen treten dann wieder andere Besonderheiten, welche die einfache Konstanz der Bewegung modifizieren, auf, Besonderheiten, welche auch Loeb und Koranyi gesehen haben, wenn sie bemerkten, daß, wenn die Dauer der Bewegung beiläufig zwei Sekunden überstieg, ihre Kurven in

größeren Intervallen einzelne Erhebungen und Senkungen zeigten, wie wenn neue Impulse erteilt worden wären. Alle diese Eigenschaften der Willkürbewegung verlangen ihre gesonderte Betrachtung und Würdigung; sie werden bei der bloßen Aufstellung eines allgemeinen mathematischen Gesetzes über den Ablauf der Gesamtbewegung nicht berücksichtigt.

Andererseits wäre es von großem theorethischem — und für die Pathologie wahrscheinlich auch praktischem — Interesse, wenn ein solches Gesetz, wie es etwa Camerer formuliert, für die zwanglose Willkürbewegung bestünde. Wir werden uns jedoch im Grunde nicht wundern dürfen, daß wir es nicht haben bestätigen können. Es war wohl eine zu schematische Vorstellung, wenn wir eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung deshalb erwarteten, »weil das die Bewegung unterhaltende Agens fortwährend gleich stark wirkt«[1]. Auch die einfachste Bewegung kommt nur zustande, indem eine große Reihe von Organen zusammenwirkt, deren Synergie bzw. Antagonismus dauernd geregelt werden muß. Wir werden nicht erwarten dürfen, daß das Resultat eines solchen Zusammenwirkens in einer ganz einfachen mathematischen Kurve zutage trete.

Gewiß werden wir die Ergebnisse Camerers darum nicht einfach bestreiten dürfen; seine Versuche sind nicht nur geistvoll interpretiert, sondern auch sorgfältig angestellt. Die Unterschiede erklären sich aber wohl ohne weiteres daraus, daß er beschleunigte Bewegungen beabsichtigte und, um diese Absicht vollführen zu können, langsame Bewegungen so modifizierte. Dabei bleibt dann die Frage, die noch genauer nachzuprüfen wäre, inwieweit eine solche Absicht im Verlauf der Bewegung realisiert wird, und wie weit die Verwirklichung dieser Absicht Gesetzmäßigkeiten des Verlaufs zeigt. Diese Frage zu beantworten lag aber nicht im Sinne unserer Arbeit.

Dagegen muß noch einige Aufmerksamkeit einer weiteren Angabe gewidmet werden, welche sowohl von Camerer wie von Loeb und Koranyi gemacht worden ist, der bereits erörterten Behauptung nämlich, daß in der ersten Hälfte der für die Bewegung verbrauchten Zeit ziemlich genau die Hälfte des gesamten Weges zurückgelegt wird. Dadurch erhält, wie Loeb und

1) Camerer, Diss. S. 30.

Koranyi sagen, die Form der Bewegung Ähnlichkeit mit einer Pendelbewegung.

Ich setze zum Vergleich eine Reihe von aus unseren Versuchen gewonnenen Werten hierher:

Tabelle A.

	Gesamt-bewegung in Winkelgraden 1	Dauer in 1/100 Sekunden 2	In der ersten Zeithälfte zurückgelegter Weg 3	Erwarteter Weg, wenn in der ersten Hälfte der Zeit die erste Hälfte des Weges zurückgelegt würde 4	Differenz zwischen Spalten 3 und 4 5	Durchschnittsgeschwindigkeit in 1/100 Sekunden 6
1	82,8	8	41	41,4	— 0,4	10
2	67	15	28,5	33,5	— 5,0	4,5
3	42	15	20,5	21	— 0,5	2,8
4	58 (Strckg.)	10	26,1	29	— 2,9	5,8
5	46,5	20	31	23,2	+ 7,8	2,3
6	51	30	37	25,5	+ 11,5	1,6
7	50 (Strckg.)	37	28,6	25	+ 3,6	1,4
8	61	28	40	30,5	+ 9,5	2
9	50	19	33	25	+ 8	2,6
10	62	34	46	31	+ 15	1,8

Die Tabelle A enthält eine Zusammenstellung von Werten, die aus Vermessungen von zehn Kurven in Abständen von 1/100 Sekunde gewonnen sind, Tabelle B die Resultate aus 100 Kurven, welche in Abständen von 1/50 Sekunden ausgemessen sind.

Wie aus den Zusammenstellungen der Tabellen A und B hervorgeht, trifft für unsere Versuche das von Camerer und von Loeb und Koranyi angegebene Gesetz nur mit groben Annäherungen und großen Schwankungen zu. Ein besonderer Einfluß der Schnelligkeit ist, wie die Berücksichtigung der Durchschnittsgeschwindigkeit zeigt, nicht festzustellen; dagegen nehmen die Abweichungen von der vorausgesetzten Regel mit der Größe der Exkursion noch zu, wie ja von vornherein wahrscheinlich ist.

Tabelle B.

Gesamtbewegung in Winkelgraden	Dauer der Gesamtbewegung in 1/50 Sek.	In der ersten Zeithälfte zurückgelegter Weg	Der erwartete Weg, wenn in der ersten Hälfte der Zeit die erste Hälfte des Weges zurückgelegt würde	Differenz der Spalten 3—4	Durchschnittsgeschwindigkeit
1	2	3	4	5	6
28,4	3	19,6	14,2	+ 5,4	9,5
42,6	4	18,8	21,3	— 2,5	10,6
40,4	4	26,8	20,4	+ 6,4	10,1
28,2	4	14,2	14,1	+ 0,1	7,0
50,2	4	20,8	25,1	— 4,3	12,5
41,6	4	18,4	20,8	— 2,4	10,4
37,4	4	20,4	18,7	+ 1,7	9,3
35,2	5	20,6	17,6	+ 3	7,0
55,2	4	25,4	27,6	— 2,2	13,8
61,4	8	33,2	30,7	+ 2,5	7,7
59,6	8	34,6	29,8	+ 4,8	7,4
81,0	5	41	40,5	+ 0,5	16,2
93	5	41,5	46,5	— 5	18,6
37,6	4	19,6	18,8	+ 0,8	9,4
33	4	13,2	16,5	— 3,3	8,2
34,2	4	18,2	17,1	+ 1,1	8,5
27	4	15,4	13,5	+ 1,9	6,7
37,8	3	16,3	18,9	— 2,6	12,6
34,6	4	22,8	17,3	+ 5,5	8,6
39,4	7	19	19,7	— 0,7	5,6
46,0	4	22,4	23,0	— 0,6	11,5
32,0	5	20,1	16,0	+ 4,1	6,4

Gesamtbewegung in Winkelgraden 1	Dauer der Gesamtbewegung in 1/50 Sek. 2	In der ersten Zeithälfte zurückgelegter Weg 3	Der erwartete Weg, wenn in der ersten Hälfte der Zeit die erste Hälfte des Weges zurückgelegt würde 4	Differenz der Spalten 3—4 5	Durchschnittsgeschwindigkeit 6
57	6	28,6	28,5	+ 0,1	9,5
28,6	5	17,7	14,3	+ 3,4	5,7
62,0	4	25,2	31,0	— 5,8	15,5
69,4	12	66,6	34,7	+ 31,9	5,8
79,4	6	52,2	39,7	+ 12,5	13,2
64,8	5	36,8	32,4	+ 4,4	12,9
77,2	4	34,4	38,6	— 4,2	19,3
71,2	5	37,2	35,6	+ 1,6	14,2
66,4	5	32,5	33,2	— 0,7	13,3
66,2	7	30,4	33,1	— 2,7	9,4
72,4	7	34,8	36,2	— 1,4	10,3
69,8	5	26,3	34,9	— 8,6	14,0
58,6	6	29,0	29,3	— 0,3	9,8
46,8	7	36,3	23,4	+ 12,9	6,7
32,6	4	14,2	16,3	— 2,1	8,1
35	4	15,2	17,5	— 2,3	8,7
51,2	5	23,1	25,6	— 2,5	10,2
55,0	8	35,2	27,5	+ 7,7	6,9
49	6	24,8	24,5	+ 0,3	8,2
49,2	8	31,6	24,6	+ 7,0	6,2
65,6	8	48,6	32,8	+ 15,8	8,2
68,4	8	30,4	34,2	— 3,8	8,5
69,6	9	35,4	34,8	+ 0,6	7,7

Gesamtbewegung in Winkelgraden	Dauer der Gesamtbewegung in $^1/_{50}$ Sek.	In der ersten Zeithälfte zurückgelegter Weg	Der erwartete Weg, wenn in der ersten Hälfte der Zeit die erste Hälfte des Weges zurückgelegt würde	Differenz der Spalten 3—4	Durchschnittsgeschwindigkeit
1	2	3	4	5	6
30,4	7	17,2	15,2	+ 2	4,3
41,6	14	30,8	20,8	+ 10	3,0
36,0	8	27,8	18,0	+ 9,8	4,5
41,0	6	20,4	20,5	— 0,1	6,8
58,6	7	35,0	28,3	+ 6,7	8,4
54,6	6	33,6	27,3	+ 6,3	9,1
38,8	5	23,1	19,4	+ 3,7	7,7
53,2	5	27,8	26,6	+ 1,2	10,6
50,8	6	29,2	25,4	+ 3,8	8,5
58,4	6	27,2	29,2	— 2	9,7
42,2	5	15,1	21,1	— 6	8,4
35,6	6	17,2	17,8	— 0,6	5,9
34,8	5	15,9	17,4	— 1,5	6,9
42,0	5	19,8	21,0	— 1,2	8,4
35,0	5	17,4	17,5	— 0,1	7,0
47,6	7	29,6	23,8	+ 5,8	6,8
46,6	5	25,0	23,3	+ 1,7	9,3
61,4	4	30,2	30,7	— 0,5	15,3
64,8	7	32,7	32,4	+ 0,3	9,2
93,8	6	61,6	46,9	+ 14,7	15,6
50,8	6	33,6	25,4	+ 8,2	8,5
50,2	10	44,4	25,1	+ 19,3	5,0
40,0	8	24,8	20	+ 4,8	5,0

Gesamtbewegung in Winkelgraden 1	Dauer der Gesamtbewegung in 1/50 Sek. 2	In der ersten Zeithälfte zurückgelegter Weg 3	Der erwartete Weg, wenn in der ersten Hälfte der Zeit die erste Hälfte des Weges zurückgelegt würde 4	Differenz der Spalten 3—4 5	Durchschnittsgeschwindigkeit 6
45,8	5	22,1	22,9	— 0,8	9,2
48,6	5	23,1	24,3	— 1,2	9,7
48,0	4	25,2	24,0	+ 1,2	12,0
49,6	6	24,0	24,8	— 0,8	8,3
39,4	4	19,0	19,7	— 0,7	9,8
49,0	6	29,2	24,5	+ 4,7	8,2
41,8	4	17,0	20,9	— 3,9	10,4
41,2	3	20,9	20,6	+ 0,3	13,7
33,0	3	15,0	16,5	— 1,5	11,0
40,4	4	13,2	20,2	— 7,0	10,1
27,4	5	12,7	13,7	— 1,0	5,5
31,2	4	13,2	15,6	— 2,4	7,8
76,8	3	48,3	38,4	+ 9,9	25,6
20,6	5	13,7	10,3	+ 3,4	4,1
30,6	6	20,4	15,3	+ 5,1	5,1
29,6	7	20,9	14,8	+ 6,1	4,2
30,9	4	18,0	15,0	+ 3,0	7,5
80,2	10	59,0	40,1	+ 18,9	8,0
81,2	8	53,0	40,6	+ 12,4	10,1
83,2	5	42,1	41,6	+ 0,5	16,6
87,8	8	77,2	43,9	+ 33,3	10,9
87,6	5	48,0	43,8	+ 4,2	17,5
72,6	6	35,2	36,3	— 1,1	12,1

Gesamtbewegung in Winkelgraden 1	Dauer der Gesamtbewegung in $^1/_{50}$ Sek. 2	In der ersten Zeithälfte zurückgelegter Weg 3	Der erwartete Weg, wenn in der ersten Hälfte der Zeit die erste Hälfte des Weges zurückgelegt würde 4	Differenz der Spalten 3—4 5	Durchschnittsgeschwindigkeit 6
76,8	6	31,0	38,4	— 7,4	12,8
68,8	5	27,3	34,4	— 7,1	13,7
27,6	8	16,8	13,8	+ 3,0	3,4
72,6	4	28,4	36,3	— 7,9	18,1
95,4	6	81,2	47,7	+ 33,5	15,9
82,8	4	40,0	41,4	— 1,4	20,7
77,6	4	40,0	38,8	+ 1,2	19,4
70,0	5	40,4	35,0	+ 5,4	14,0
69,6	6	33,0	34,8	— 1,8	11,6

Es ist wichtig, sich zu vergegenwärtigen, was das von Loeb und Koranyi aufgestellte Gesetz, daß der Zeitpunkt, in welchem die erste Hälfte der gesamten Wegstrecke zurückgelegt ist, zusammenfällt mit der Mitte der gesamten Zeitdauer der Bewegung, ob es nun mit größerer oder geringerer Annäherung gilt, in seinem Kern besagen will. Loeb und Koranyi haben daraus gefolgert, »daß der erste Impuls gleich zu Beginn der Bewegung für die Länge der Wegstrecke entscheidend ist«. Diese Folgerung ist allerdings gültig, sobald das Gesetz gilt. Denn eine solche Regel, welche die verschiedenen Bewegungen einheitlich beherrscht, könnte doch nur in der Natur eines Mechanismus, der bereits vor Beginn der Bewegung in bestimmter Weise geordnet ist, nicht in Momenten, die erst im Ablauf derselben wirksam hinzutreten, begründet sein. Aber die behauptete Gesetzmäßigkeit würde auch noch weitere Regelmäßigkeiten in sich schließen. Da es sich um Bewegungen von sehr verschiedener Geschwindigkeit handelt, die alle dieselbe Besonderheit des Ablaufs zeigen sollen, so müßten bestimmte Proportionen stets in gleicher Weise eingehalten werden. Insbesondere müßten die einzelnen Teile der Bewegung in ihrem Geschwindigkeitsablauf immer dasselbe Verhältnis bewahren und der

Beginn der Bewegung wie ihr Aufhören eine bestimmte Beziehung einhalten zu der überhaupt erreichten Geschwindigkeit. In dieser Hinsicht glaubte schon Camerer[1]) den Satz aussprechen zu dürfen, daß die dem Muskel erteilten Anfangsgeschwindigkeiten sich proportional den wirklich erreichten, bzw. auch den beabsichtigten, mittleren Geschwindigkeiten verhalten. Und die Tatsache von der gleichen Dauer der beiden Bewegungshälften würde dann besagen, daß — da der mittlere Teil der Bewegung eine konstante Geschwindigkeit haben soll — der Beginn der Bewegung und ihre Bremsung ungefähr dieselbe Zeit in Anspruch nehme. Können wir diese Tatsache auch nur als in grober Annäherung bestehend zugeben, so übersehen wir doch nicht die wichtigen Fragen, welche in dieser allgemeinen Behauptung verborgen sind, die Fragen nach dem Verhältnis der Teile der Bewegung, ihres Beginns, ihres mittleren Verlaufs und ihres Abschlusses zu der gesamten Bewegung, ihrer Durchschnittsgeschwindigkeit, Größe und Dauer. Über diese Punkte aber kann uns die summarische Betrachtung des Bewegungsablaufs und die bloße Vergleichung der Weghälften nach ihrer Dauer keine genügende Aufklärung bringen. Wir müssen in eine genaue Analyse der Bewegung eintreten und ihren Ablauf in kleinen Zeitabständen in allen Stadien verfolgen[2]).

---

1) Dissertation S. 42.

2) Es seien hier mit einigen Worten die Augenbewegungen erwähnt, über deren Ablauf und Geschwindigkeit eine Reihe exakter Untersuchungen vorliegen (Volkmann, Lamansky, Dodge, Cline, Brückner). Neuere Untersuchungen zugleich mit einer Übersicht über die früheren gibt Koch (Archiv für die gesamte Psychologie XIII, 1908, S. 196 ff.). Nach seinen Ergebnissen beträgt die Geschwindigkeit der Augenbewegungen bei kleinen Exkursionen 100—200° per Sek., bei größeren 200—500° per Sek. Jede Bewegung zeigt drei Phasen; für gewöhnlich liegt das Maximum der Geschwindigkeit in der mittleren, hin und wieder in der Endphase. Die Maxima steigen bis 700° per Sek. (In unseren Versuchen betrugen, wie später gezeigt werden wird, die höchsten Durchschnittsgeschwindigkeiten 1000° per Sek., die höchsten Maxima 2000° per Sek.) Die Gesamtdauer der einzelnen Bewegungen schwankte zwischen 50$^\sigma$ und 130$^\sigma$. Eine nennenswerte physiologische Bevorzugung einer Bewegungsrichtung läßt sich nicht finden, doch sind die Konvergenzbewegungen viel langsamer als die gleichsinnigen. Besonders bemerkenswert sind die Pausen, welche bei Hin- und Herbewegungen der Augen, auch bei dem Versuch schnellstens zu bewegen, zwischen den einzelnen Bewegungen eintreten. Sie betragen stets ein Vielfaches der Dauer der Bewegung (200$^\sigma$—300$^\sigma$).

b. Die Hauptabschnitte der Bewegungskurve.

1. Der Rückstoß.

Betrachtet man eine Reihe von Kurven schneller Bewegungen — wir halten uns nur an die Resultate unserer Reaktionsversuche, welche allein genügend schnelle Bewegungen darstellen —, so wird die Aufmerksamkeit in erster Linie durch eine sehr auffallende Erscheinung gefesselt. Diese Erscheinung beherrscht das ganze Bild der Bewegungsform so sehr, daß sie gleich zu Beginn der Analyse der Bewegung abgehandelt werden muß, obgleich sie erst den Schluß der Bewegungskurve kennzeichnet. Das Phänomen besteht in nichts anderem, als darin, daß eine schnelle Bewegung überhaupt nicht beendet werden kann, ohne daß sich eine zweite, der ersten geradewegs entgegengesetze Bewegung anfügt. Nur unter Anschluß einer solchen zweiten Bewegung, die einen mehr oder minder großen Umfang erreichen kann, kommt die erste zum Stillstand. Es ist ein leichtes, sich von dieser Tatsache im groben zu überzeugen. Man braucht nur irgend ein Glied, z. B. den Unterarm im Ellbogengelenk, oder den ganzen Arm in der Schulter, sehr schnell zu bewegen und plötzlich anzuhalten, um zu sehen, daß dieses Anhalten aus der vollen Bewegung heraus nur unter Zurückschnellen des Gliedes nach der der Bewegung entgegengesetzten Richtung geschehen kann. Obgleich diese Tatsache so sehr leicht zu demonstrieren ist, hat sie, so weit ich sehe, erst Rieger[1]) zum erstenmal genauer beschrieben und als den »elastischen Rückstoß« in ihrer Bedeutung abgehandelt. Man findet zwar die Rückstoßbewegung auch in früheren Veröffentlichungen aufgezeichnet[2]), da, wo die Forscher Kurven schneller Bewegungen, so wie sie sie beobachteten, wiedergaben. Aber es scheint diese Tatsache des unmittelbaren Anschlusses der Rückbewegung kein weiteres Problem für die Forscher gebildet zu haben; sie scheint einfach als eine an die erste sich anfügende zweite Willkür-

---

1) Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane 32. 1903, S. 382 ff. Auf das Phänomen kurz aufmerksam gemacht hat schon früher H. E. Hering, Zeitschrift für Heilkunde XVI, 1895, S. 135.

2) Z. B. Woodworth, a. a. O. S. 361, v. Kries Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1886, Suppl. Taf. I, Fig. 1 (a, b), 2 (a, b).

bewegung angesehen worden zu sein[1]). Dabei aber kann — schon bei einer Beobachtung im groben — gar kein Zweifel bestehen, daß die zweite Bewegung nicht beabsichtigt ist, ja daß sie auch erfolgt, wenn man sie zu unterdrücken erstrebt. Erst Rieger hat auf diese Tatsachen eingehender hingewiesen und auch Kurven verschiedener Rückstoßbewegungen systematisch aufgenommen; den genaueren zeitlichen Ablauf hat er allerdings nicht analysiert. Er hat auch das Verdienst, auf die Bedeutung »des Rückstoßes« für mannigfache Bewegungen, die wir ohne den Rückstoß in der für uns notwendigen Form nicht ausführen könnten, hingewiesen zu haben. Die Natur des Phänomens hat er als eine Wirkung der Muskelelastizität zu verstehen gesucht. Bei einer schnellen Bewegung wird nach seiner Anschauung der dem Agonisten entgegenwirkende Antagonist gedehnt und schnellt zurück, sobald der Agonist zu wirken aufhört. Daher der »elastische Rückstoß«. —

Auch bei den in unseren Experimenten untersuchten Fingerbewegungen war, sobald eine etwas höhere Geschwindigkeit erreicht wurde, der Rückstoß überall sehr deutlich. Er hatte verschiedene Form je nach der Art der Bewegung und zeigte außerdem für die einzelnen Individuen kennzeichnende Eigentümlichkeiten. Auf diese Punkte wird späterhin noch eingehend zurückzukommen sein; zunächst mögen einige Kurven das Phänomen verdeutlichen. Die Tafelfig. 1—3 zeigen alle den Ablauf schneller, energischer Bewegungen[2]). Sie stammen von verschiedenen Personen und haben untereinander sehr verschiedene Geschwindigkeits- und Wegverhältnisse. Bei Tafelfig. 1 z. B. beträgt die gesamte bis zum Rückstoß zurückgelegte Bewegung 81 (mm bzw. °); die höchste Einzelgeschwindigkeit, die in einer $^1/_{100}$ Sek. erreicht ist, beträgt 23, die Durchschnittsgeschwindigkeit 11 pro $^1/_{100}$ Sek. Bei Tafelfig. 2 gelten für dieselben Maße die Zahlen 66,5; 7,4; 5,5; für Tafelfig. 3: 53; 10,4; 4. Es handelt sich also um in ihrem genaueren Ablauf recht verschiedenwertige Bewegungen. Alle aber zeigen den Rückstoß. Dieser Rückstoß hat, wie ein Blick auf die Kurven lehrt, bei den einzelnen Bewegungen eine verschiedene Ausdehnung und einen ver-

1) So z. B. von Kries, a. a. O. S. 4, auch Hering, a. a. O. S. 135; Hering zieht jedoch auch die Elastizität des gedehnten Muskels in Betracht.

2) Bei sämtlichen Bewegungskurven bezeichnen, wo nicht anders bemerkt, die aufsteigenden Linien Beugung, die absteigenden Streckung.

schiedenen Geschwindigkeitsverlauf. Welche Gesetzmäßigkeiten uns hier als maßgebend erkennbar sind, insbesondere, welche genaueren Beziehungen zwischen der Bewegungsform und dem an sie sich anschließenden Rückstoß herrschen, soll in weiteren Ausführungen erörtert werden. Vorerst aber werden wir zu der Frage Stellung nehmen müssen, was denn eigentlich der Rückstoß überhaupt sei.

Rieger hat, wie schon bemerkt, das Phänomen für eine bloße Elastizitätswirkung gehalten. Er hat den Muskel, durch welchen der Rückstoß bewirkt wird, mit einem Gummiband verglichen, das auch zurückschnellt, wenn man es dehnt und dann plötzlich losläßt. Ähnlich soll es bei schnellen Bewegungen mit dem Muskel geschehen. — Zweifellos aber ist dieser Vergleich und die Beurteilung des Rückstoßes als einer bloßen Elastizitätswirkung nicht angängig. Eine sehr wesentliche Schwierigkeit ist schon von Rieger selbst betont worden. Er hat darauf hingewiesen, daß die Rückstoßbewegung des Muskels sich sehr wesentlich von jenem Zurückschnellen eines gedehnten elastischen Bandes in der Hinsicht unterscheidet, daß bei der Dehnung eines elastischen Bandes das Zurückschnellen proportional dem Grade der Dehnung zunimmt. Je stärker wir ein Gummiband strecken, um so heftiger wird, sobald wir es loslassen, das Band zusammenschnellen. So müßten wir auch, wenn wir ein Glied schnell bewegen, ein starkes Zurückschnellen besonders dann erwarten, wenn der Umfang der Gliedbewegung besondert groß war. Wie schon Rieger betont, ist oft gerade das Umgekehrte der Fall. »In Wirklichkeit bleibt gerade bei einer . . . . . extremen Bewegung der elastische Rückstoß viel eher aus als nach einer kurzen Bewegung. Und wenn man an diesen Gegensatz herantritt, bloß mit dem, was man von Gummibändern gewöhnt ist, dann kann man vorläufig nur sagen: wenn jemand von einem Gummiband berichten würde, es schnelle weniger zurück, falls es mehr, und mehr, falls es weniger gedehnt war, — so müßte man dies für ein absurdes Gerede erklären. Bei den Muskelbewegungen scheint es aber so zu sein[1].« — Es ist tatsächlich so! Man kann sich mit Leichtigkeit überzeugen, daß man eine schnelle Bewegung des Unterarms oder Fingers viel leichter ohne Rückstoß ausführen kann, wenn die Bewegung einen größeren Umfang

1) a. a. O. S. 384.

durchläuft, als wenn sie kurz ist. Dabei bedarf die Behauptung Riegers — hinsichtlich des besonders starken Zurückschnellens — noch einer genaueren Bestimmung. Es darf damit nichts anderes gesagt sein, als daß der Rückstoß bei kurzen Bewegungen schwerer zu unterdrücken ist, als bei langen. Hinsichtlich der Geschwindigkeit und des Maßes der Rückbewegung, wenn man den Rückstoß bei der längeren Bewegung zustande kommen läßt, darf damit nichts gesagt sein. Hier muß zunächst nur die Tatsache festgehalten werden, daß bei einer langen Bewegung der Rückstoß leichter unterdrückt werden kann, als bei einer kurzen, was der Lehre von der bloß elastischen Natur des Rückstoßes widerspricht.

Es sprechen gegen diese Annahme aber noch weitere Gründe, die gleichfalls erörtert werden müssen.

Zu dem Vergleich mit dem Gummiband paßt auch die Tatsache nicht, daß überhaupt die Geschwindigkeit, mit welcher das Glied bewegt wird, von Einfluß ist auf das Zustandekommen des Rückstoßes. Würde dieser nur durch Elastizität bewirkt, so müßte es ganz gleichgültig sein, mit welcher Geschwindigkeit das Band, das den Rückstoß bewirkt, gedehnt wird; der Grad der Dehnung allein müßte für die Stärke des Zurückschnellens maßgebend sein. Für das Auftreten des Rückstoßphänomens ist es aber von ausschlaggebender Bedeutung, daß eine gewisse Geschwindigkeit erreicht wird; langsame Bewegungen haben keinen Rückstoß — wie auch schon Rieger erkannt hat[1]).

Es kommt endlich noch eine dritte Tatsache hinzu, welche dazu bewegen muß, die Theorie von der Elastizität des Rückstoßes abzulehnen. Diese Tatsache ist gleichfalls schon von Rieger gesehen, hat ihn aber nicht von der Aufstellung seiner Lehre abgehalten. Es ist die Erscheinung, welche Rieger als die Bremsung durch einen »Prellbock« beschrieben hat. — Es ist nämlich ein leichtes, den Rückstoß zu unterdrücken, wenn man das schnell bewegte Glied

---

1) Die Erklärung Riegers hätte mehr Wahrscheinlichkeit, wenn Grund für die Annahme wäre, daß bei der langsamen Bewegung, im Unterschied von der schnellen, der Agonist auch nach Aufhören der Bewegung so stark kontrahiert bleibt, daß er den Zug des antagonistischen »elastischen Bandes« überwindet. Diese Annahme hat aber wenig für sich.

gegen einen die Bewegung aufhaltenden Gegenstand, den »Prellbock«, drückt. Hierbei unterbleibt der Rückstoß ohne weiteres, während er bei der »elastischen« Bremsung, bei welcher nur ein Muskel gegen den anderen, den Antagonisten, arbeitet, nicht völlig aufgehoben werden kann. Nun leuchtet es aber ein, daß bei der Bremsung gegen einen Prellbock und der einfachen »elastischen Bremsung« die Verhältnisse hinsichtlich der Dehnung des »elastischen Bandes« ganz die gleichen bleiben. Wenn es sich z. B. um die Bewegung des Unterarms im Ellbogengelenk handelt, so liegt der Unterschied darin, daß das eine Mal (bei der Bremsung gegen einen Prellbock) der sich kontrahierende Muskel (z. B. der Biceps) den Unterarm gegen den bremsenden Gegenstand drückt; das andere Mal (bei der »elastischen Bremsung«) gibt es eine solche vermittelnde Hilfe eines Gegenstandes als Anschlag nicht, die Bremsung muß durch die entgegengesetzte Tätigkeit von Muskeln zustande kommen. So weit aber eine Dehnung der Antagonisten in Betracht käme, besteht kein Unterschied. Halten wir nämlich an der Anschauung fest, daß der Antagonist sich nur wie ein elastisches Band verhält, so liegt der Unterschied vielmehr einzig darin, daß bei der Prellbockbremsung einer schnellen Bewegung der wirkende Muskel sich schnell kontrahiert und kontrahiert bleibt, eventuell noch an Kontraktion zunimmt, während er das bewegte Glied an den bremsenden Gegenstand andrückt. Bei der »elastischen Bremsung« muß die Innervation der Muskelkontraktion so eingerichtet werden, daß der Muskel selbst an einer bestimmten Stelle anhält. Hierbei zeigt es sich nun, daß ein solches Anhalten aus der schnellen Bewegung heraus nicht ohne Rückstoß möglich ist, während es ein leichtes ist, eine langsame Bewegung nur bis zu einem bestimmten Punkte auszuführen, auch ohne daß irgend ein Prellbock hemmend entgegenwirkte. — Andererseits ist es ebenso eine Kleinigkeit, den elastischen Rückstoß trotz des Prellbocks eintreten zu lassen. Es ist sehr leicht, den schnell bewegten Finger oder Unterarm gegen einen starren Gegenstand anschlagen und im Rückstoß zurückfedern zu lassen. Dann darf der wirksame Muskel eben nicht das Glied längere Zeit an den Prellbock anpressen. Rieger hat das auch gesehen und hat auf die Bedeutung hingewiesen, die unsere Intention auch auf die Rückstoßverhältnisse hat. Er hat aber nicht berücksichtigt, daß all

diese Tatsachen gegen seine Auffassung vom Rückstoß sprechen. Könnte man wohl die Tatsache des Zurückfederns trotz Prellbock (bei entsprechender Innervation) im Sinne Riegers daraus erklären, daß das »elastische Band« (der Antagonist) den Rückstoß bewirkt, sobald der Agonist willkürlich außer Tätigkeit gesetzt wird, so ist es doch unmöglich, die Tatsachen im Sinne Riegers zu begreifen, sobald, wie bei den beiden Bremsungsarten, die Intention da ist, das Glied in einer bestimmten Lage zu halten, wenn der Antagonist immer nur als elastisches Band aufgefaßt wird. Denn beide Male bemüht sich ja in diesen Fällen der Agonist, das Glied in einer bestimmten Lage zu fixieren, während der Antagonist nur ein gedehntes elastisches Band sein soll. Und trotzdem haben wir bei der elastischen Bremsung Rückstoß, bei der Prellbockbremsung nicht.

Es ist also schon aus diesen Erwägungen heraus nicht angängig, bei der Anschauung von der bloß elastischen Natur des Rückstoßes zu bleiben. Sie wird aber völlig unmöglich gemacht durch weitere Beobachtungen, welche unsere Versuche ergaben. — In den oben betrachteten Kurven (Tafelfig. 1—3) schloß sich der Rückstoß unmittelbar an die Hinbewegung an, und so scheint es ja immer zu sein, wenn man nur der einfachen groben Beobachtung folgt. Anders, wenn man die Bewegungen registriert und genauer analysiert. Die nächste Tafelfig. 4 bereitet uns eine Überraschung insofern, als sie zeigt, daß Bewegung und Rückstoß nicht unmittelbar aufeinander zu folgen brauchen. Es handelt sich um eine kurze Beugung des Zeigefingers mit anschließendem Rückstoß. Der Gesamtweg der Beugung beträgt 18,2, die höchste in $^1/_{100}$ Sek. erreichte Einzelgeschwindigkeit ist 4,4, die Durchschnittsgeschwindigkeit 2,3. Es ist also eine kurze Bewegung mit im Verhältnis zu den Schnelligkeiten, welche bei Bewegungen größeren Umfanges erreicht werden können, geringer Geschwindigkeit. Trotzdem haben wir einen sehr starken Rückstoß, der etwa denselben Umfang hat, wie die erste Bewegung. An den Rückstoß schließt sich eine zweite durch einen neuen Rückstoß bedingte Bewegung, welche etwa nur den halben Bewegungsumfang der früheren erreicht. Das Wesentliche an dieser Kurve ist nun, daß jedesmal zwischen Bewegung und Rückstoß eine gut meßbare, nicht unbeträchtliche Zeit liegt. Wir sehen auf unserer Kurve, daß der Schreibhebel nach der

Hinbewegung (Beugung) eine Zeitlang still stand, dann erst setzte die Rückbewegung ein. Die Zeit zwischen Hin- und Rückbewegung beträgt, wie durch die beiden senkrechten Striche gezeigt wird, etwa $^{4}/_{100}$ Sek. Ganz ähnliche Verhältnisse zeigen die nächsten Figuren (8b, c), welche von anderen Versuchspersonen stammen. Überhaupt handelt es sich nicht um eine Erscheinung, welche vereinzelt zu beobachten ist, sondern um eine solche, die man regelmäßig wahrnehmen kann, sobald man kurze Bewegungen registriert[1]). Daß sie Rieger nicht aufgefallen ist, liegt wohl zum Teil daran, daß er die Bewegungen nicht in ihrem Umfang abgestuft hat und vor allem daran, daß er die Kymographiontrommel mit geringerer Geschwindigkeit rotieren ließ. — Aber nur bei ziemlich großer Geschwindigkeit der Kymographionbewegung kann natürlich die kurze Pause sichtbar werden.

Worum handelt es sich nun bei dieser Erscheinung und welche Bedeutung hat sie für die Auffassung des Rückstoßes?

Es ist klar, daß eine Pause zwischen der Bewegung und ihrem Rückstoß niemals verstanden werden kann aus der Elastizität eines Muskelbandes, welches den Rückstoß bewirken soll. Wäre der Rückstoß nur ein Zurückschnellen infolge der Elastizität des gedehnten Antagonisten, so müßte diese Elastizitätswirkung eintreten, sobald die dehnende Kraft zu wirken aufhört, ja schon wenn sie nachläßt[2]). Es wäre ganz unverständlich, daß ein gedehntes Gummiband erst eine geraume Zeit nachdem die es dehnende Kraft zu wirken aufgehört hat, zurückschnellen sollte. Bei dem Rückstoß nach kurzen Bewegungen sehen wir aber etwas derartiges eintreten. Es müssen also andere Erklärungen gesucht werden.

Und da ist denn die erste Frage, die zu beantworten ist: Wie verhält sich denn überhaupt bei solchen schnellen Bewegungen der antagonistisch wirkende Muskel?

---

1) Um zu kontrollieren, ob nicht etwa die Trägheit des Hebels das Erscheinen der Pause verursache, wurden Versuche angestellt, bei denen der Finger ohne jeden Apparat mit Hilfe einer kleinen Spitze direkt auf der Trommel schrieb. Auch hier war die Pause deutlich, die Differenzen der Kurvenform gegenüber den mit dem Apparat gewonnenen waren gering.

2) Die Annahme einer Dauerkontraktur des Agonisten ist sehr unwahrscheinlich; vgl. S. 43. Daß am Schluß der schnellen Bewegung der Agonist außer Wirkung tritt, zeigen die Dickenkurven, vgl. Tafelfig. 12.

In welcher Weise kann er, wenn überhaupt, gedehnt werden und Elastizitätswirkungen zeigen?

Wie bekannt, haben in den letzten Jahren unsere Anschauungen von der Synergie von Muskeln und der antagonistischen Innervation eine wesentliche Änderung erfahren. Die bis vor kurzem allgemein angenommene, von Duchenne, Brücke, Hitzig, Rieger und anderen vertretene Lehre, daß bei jeder Bewegung außer den Agonisten zugleich die Antagonisten innerviert werden und die Bewegung mit regieren, sie »moderieren«, ist von Sherrington und Hering bekämpft und modifiziert worden. Diese Forscher haben in Experimenten und Beobachtungen am Tiere wie am Menschen gezeigt, daß bei einer Reihe von reflektorischen und willkürlichen Bewegungen die Antagonisten sich nicht kontrahieren, sondern erschlaffen[1]. Die Verhältnisse sind dann später noch weiter geklärt worden, sie liegen offenbar recht kompliziert. Die Synergie der Muskeln ist ja je nach den Bewegungen, die in einem Gelenk ausgeführt werden, verschieden. Auch Teile eines Muskels können, wie gezeigt worden ist, in antagonistischer Innervation stehen, so daß der eine Teil erschlafft, während der andere sich kontrahiert. So wie die Frage heute steht, kann man es als sicher ansehen, daß die Lehre von der Mitinnervierung der Antagonisten zum mindesten für die schnellen Bewegungen nicht zutrifft und daß keine Rede davon sein kann, daß das schnellbewegte Glied infolge der antagonistischen Kontraktion den antagonistisch wirkenden Muskel übermäßig dehnt und so ein besonders starkes, elastisches Zurückschnellen bewirkt. Im Gegenteil, dürfen wir auch für die schnellen Willkürbewegungen am Lebenden annehmen, daß durch Hemmung der Antagonisten und Erschlaffen derselben einer übermäßigen Dehnung der antagonistisch wirkenden Muskeln vorgebeugt wird. Daß eine solche gar nicht stattfindet, kann damit natürlich nicht behauptet werden, doch vermehrt der Mechanismus des Erschlaffens der Antagonisten die Unwahrscheinlich-

1) Hierzu H. E. Hering, Ergebnisse der Physiologie (herausgeg. v. Asher und Spiro) Bd. I, 1, A. 520. — Sherrington zusammenfassend in: The integrative Action of the nervous System, London 1908; eine Kritik zu voreiliger Schlüsse aus den Ergebnissen Sherringtons und sehr treffende Hinweise zum Verständnis der Frage unter Abweisung eines »absoluten Antagonismus« einzelner Muskeln gibt R. du Bois-Reymond, Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1902, Supplem. S. 27 ff.

keit, daß ein so erhebliches Phänomen wie der Rückstoß nur auf Dehnungselastizität zurückzuführen sein sollte.

Es kommen aber unserem Verständnis des Rückstoßes weitere Beobachtungen entgegen, die ganz kürzlich von Sherrington gemacht worden sind. Als »sekundäre Induktion« hat dieser die Tatsache bezeichnet[1], daß in dem erschlafften Antagonisten unmittelbar nach Aufhören der Tätigkeit des Agonisten eine Kontraktion eintritt. So sah z. B. Sherrington bei dem von ihm beschriebenen Beugungsreflex des Hundes in den zur Zeit der Beugung durch reflektorische Hemmung erschlafften Extensoren (vasto-crureus) nach Aufhören der Tätigkeit der Flexoren eine lebhafte Kontraktion eintreten. Diese auf »sekundärer Induktion« beruhende Kontraktion des kurz vorher durch Hemmung erschlafften Muskels kann oft ausgesprochener sein als die Hemmung der Kontraktion. Die Erscheinung bewirkt, daß der Reflex »diphasisch« wird, so daß die Phase der Beugung unmittelbar von einer Phase der Streckung gefolgt wird. Sherrington sieht das Wesen der Erscheinung in zentralen Geschehnissen. Auf den zentralen Vorgang der Hemmung folgt ein selbständiger Prozeß der Erregung, der die Kontraktion bewirkt. Er hält den Prozeß für »an instance of an allonomic (E. Hering, A. v. Tschermak) depression of a motor centre, followed by a large autonomic exaltation of activity in it«[2]. Die Innervation des bewegenden Muskels ist verknüpft mit der intrazentralen Hemmung seines Antagonisten und die intrazentrale Hemmung des Antagonisten unmittelbar gefolgt von einer intrazentralen Erregung, welche eine Kontraktion der eben erschlafft gewesenen Antagonisten bewirkt. Sherrington vergleicht den Prozeß, welchen er hierbei in den Zentren annimmt, mit der Anodenöffnungserregung des Nerven oder mit den optischen negativen Nachbildern. —

Aber ganz gleich, ob man diese theoretische Anschauung Sherringtons von der »sekundären Induktion« billigt — und es fehlt ihr zweifelsohne nicht an Wahrscheinlichkeit —, so wird für unsere Probleme doch vor allem die Tatsache als bedeutungsvoll festzuhalten sein, die er unter diesem Titel festgelegt hat, die Tatsache, daß

---

1) The integrative Action S. 206; ders.: Folia neurobiologia I, 1908, S. 365.ff.
2) A. a. O. S. 365.

ein Reiz genügt, um reflektorisch eine Doppelbewegung hervorzurufen. Und wir werden die Bedeutung, welche Sherrington diesem Faktum zuschreibt, nicht übersehen, daß nämlich durch diesen Mechanismus die Möglichkeit gegeben ist, einfache Reflexe aneinander zu binden.

Es liegt nahe, die Beobachtung Sherringtons und seine Lehre für das Verständnis des »Rückstoßes« nutzbar zu machen. Daß der Rückstoß eine bloße Elastizitätswirkung nicht sein kann, glauben wir durch unsere Überlegungen und durch die in den Kurven der Bewegungen niedergelegten Tatsachen dargetan zu haben. Und manche Analogien lassen es erlaubt erscheinen, die Lehre von der sekundären Induktion von den reflektorischen auf die Willkürbewegungen zu übertragen und den Rückstoß als eine Erscheinung, welche durch der sekundären Induktion ähnliche Vorgänge bedingt sein könnte, anzusprechen.

Das Wesentliche in dieser Auffassung ist also das, daß, im Unterschiede zu der Auffassung Riegers, der Rückstoß, welcher der schnellen Willkürbewegung des Menschen ihre Eigenart verleiht, als eine aktive Kontraktion der antagonistischen Muskeln aufgefaßt wird, eine Kontraktion, deren Innervation nicht als gesonderte Willkürhandlung, sondern als eine zentrale Erregung, etwa im Sinne der »sekundären Induktion« Sherringtons gedacht werden muß. Auch die Möglichkeit einer Art von Reflex wäre ja nicht ausgeschlossen, da die Bewegung erst bestimmte Eigenschaften (Geschwindigkeit, Umfang) erreichen muß, damit die Kontraktion erfolgt. Doch wird dies noch später weiter zu erörtern sein.

Es sind jedoch zunächst noch weitere Gründe zusammenzustellen, welche dazu bewegen, die Erfahrungen, die Sherrington bei den reflektorischen Bewegungen gemacht hat, auf die Willkürbewegungen mit »elastischem Rückstoß« zu übertragen. Es ist ja auch, abgesehen von den früher erörterten Momenten, unwahrscheinlich, daß ein Muskel sich so rein passiv dehnen lassen würde, wie das nach den Lehren Riegers der Fall sein müßte. Wir haben vielmehr allen Grund anzunehmen, daß der Muskel gegen solche passive Längenveränderungen unter Vermittlung vom Muskel ausgehender zentripetaler Bahnen mit bestimmten reflektorischen Innervationen reagiert. (Die propriorezeptiven Reflexe Sherringtons.) — Im allgemeinen hat

man angenommen, daß der gedehnte Muskel mit reflektorischen Verkürzungen antworte. Daß es nicht nur so zu sein brauche, hat neuerdings Sherrington gezeigt. Dieser hat nämlich an Tieren in dem Zustand der von ihm so bezeichneten »decerebrate regidity« folgende Tatsachen demonstriert[1]). Wenn man an dem Knie eines solchen Tieres alle Muskeln bis auf den Vasto-Crureus loslöst, bzw. deren Nerven durchschneidet, so daß nur der Vasto-Crureus wirksam bleibt, so hält dieser entsprechend dem Tonus der »decerebrate regidity« den Unterschenkel in einer nahezu oder völlig gestreckten Stellung. Verändert man nun diese Stellung, indem man das Glied passiv bewegt oder (wenn man nur die Nerven durchtrennt, nicht die Muskeln abgetrennt hat), indem man die Beuger durch Reizung des peripheren Nervenstumpfes zur Kontraktion bringt, so hält der Extensor das Glied in der neueingenommenen Lage weiter. Es besteht also in dem Muskel unter solchen Umständen eine Tendenz in jeder ihm neu erteilten Lage zu verharren (»lengthening reaction« u. »shortening reaction«). Sherrington bezieht diese beiden Reaktionen auf reflektorische Innervationen, die durch die vom Muskel selbst ausgehenden afferenten Bahnen vermittelt werden, und er beweist diese Ansicht damit, daß die beschriebenen Verlängerungs- und Verkürzungsreaktionen ausbleiben, sobald die afferenten Bahnen durchschnitten sind. Er hält diese Reflexe für wichtige Unterstützungsmittel anderer Reflexe bzw. Innervationen; und zweifellos müssen sie solche darstellen, wenn z. B., wie Sherrington es darlegt, bei der Beugung des Unterschenkels der Extensor durch dauerndes Nachgeben in der »Verlängerungsreaktion«, die Tätigkeit des Agonisten unterstützt. Sei dem wie ihm wolle, diese Beobachtungen zeigen jedenfalls, wie kompliziert das Zusammenwirken der Antagonisten sich gestaltet und wie wenig man ein richtiges Bild von ihm gewinnt, wenn man den Antagonisten nur als ein gedehntes elastisches Band ansieht[2]).

Wenn wir also das Zurückschnellen im Rückstoß als eine Kontraktion, und zwar eine durch das Spiel der antagonistischen Innervation bedingte Kontraktion ansehen, so haben wir auch nach der

---

1) Folia neurobilogica II, 1909, S. 575 ff.

2) Daß der Muskel nicht nur ein solches ist, weiß Rieger natürlich auch. An manchen Stellen spricht er auch von der Rolle, welche »eine Wirkung aus

positiven Seite unserer Annahme von vornherein Wahrscheinlichkeiten zugute. Diese Annahme wird aber weiterhin durch Beobachtung und Experiment gestützt. Schon wenn man den tastenden Finger auf einen stark kontrahierten Biceps z. B. legt und dann eine schnelle Streckbewegung ausführt mit daran anschließendem Rückstoß, so fühlt man den Muskel in einer Weise weich und (beim Rückstoß) wieder hart werden, die man kaum als auf bloßer Dehnung des kontrahierten Muskels beruhend wird ansehen können. Das Phänomen tritt besonders merklich zutage, wenn man den Muskel möglichst stark kontrahiert und nur eine ganz kurze, schnelle Streckbewegung macht; auch hierbei merkt man eine Veränderung in Dicke und Konsistenz des Muskels deutlich, während die Dehnung bei der Kürze der Bewegung kaum in Betracht kommen kann.

Klarer werden diese Erscheinungen in der graphischen Registrierung festgehalten. Die Tafelfig. 9, 10 und 11 sind Dickenkurven des Biceps. Sie wurden aufgenommen, indem ein kleines Gummiluftkissen, das auf den Biceps befestigt wurde, vermittels Luftschlauch- und Marey-Kapselübertragung die Verdickungen und Verdünnungen des Muskels aufschrieb. Tafelfig. 9 u. 10 zeigen Streckbewegungen gegen den kontrahierten Biceps. Man sieht, wie die Kurve zunächst ein Sinken des Hebels entsprechend der Dickenabnahme des Biceps anzeigt und wie dann im Rückstoß eine neue Dickenzunahme erfolgt. Tafelfig. 11 zeigt die umgekehrte Bewegung, schnelle Flexion des Unterarms mit doppeltem Rückstoß. Wir sehen in ihr zunächst eine kräftige Dickenzunahme des Muskels, dann eine Dickenabnahme, auf welche wieder eine Dickenzunahme folgt. In Tafelfig. 12 sind zugleich mit den Dickenveränderungen die »resultierenden Bewegungen« des Unterarms (an einem ähnlichen Apparat wie der für den Finger benutzte, der sonst zur Aufnahme der Kniereflexe dient) aufgezeichnet. In diesem Fall bezeichnet der aufsteigende Schenkel Streckung, und es wird aus der Figur deutlich, wie die Verdünnung des Biceps mit der Streckung,

---

den Nerven«, welche »die elastische Kraft noch vermehrt« (a. a. O. S, 382), für die zeitlichen Verhältnisse der Bewegung spielen kann. Er deutet auch eine Theorie an, die er geben wolle, daß das, »was aus den Nerven in die Muskeln kommt, ihre Temperatur und damit ihre elastische Zugkraft erhöht«. Für die Lehre vom Rückstoß sind aber solche Innervationsverhältnisse nicht berücksichtigt. In ihr ist der Antagonist tatsächlich nur wie ein Gummiband behandelt.

die Verdickung mit der Beugung des Unterarms im Rückstoß zusammenfällt.

Bei diesem letzteren Versuch, der ja mit einem Apparat ausgeführt wurde, der sonst anderen Zwecken diente, gelang es nicht die Veränderungen der Dickenkurve sehr deutlich zum Ausdruck zu bringen, weil der Arm nicht bequem genug gelagert werden konnte[1]). Sie sind aber wohl auch hier klar genug, um im Verein mit den früheren (10 und 11) die Veränderungen der Muskeldicke bei der schnellen Bewegung und ihrem Rückstoß genauer zu demonstrieren und durch ihre Form die Anschauung zu stützen, daß wir es hier mit Muskelerschlaffungen und Verdickungen zu tun haben. Absolut beweisend sind diese Kurven natürlich nicht, weil sie nur Dickenveränderungen zeigen, nicht die sie bedingenden Innervationen. Es ließe sich ja schließlich doch denken, daß man bei geeigneter Form eines elastischen Bandes durch bloßes Dehnen und Zurückschnellenlassen ähnliche Kurvenformen erzielen könnte.

Diese Möglichkeit freilich wird wohl ausgeschlossen, wenn wir auf die Erfahrungen zurückgehen, welche die Tafelfig. 4, 5, 7 demonstrieren. Sie verdeutlichen, daß regelmäßig bei kurzen Bewegungen eine Pause zwischen Bewegung und Rückstoß eintritt, und wir glaubten diese Erfahrung gegen die Lehre von der bloß elastischen Natur des Rückstoßes verwerten zu dürfen, mit welcher sie unverträglich erscheint. Sie wird auch nicht verständlich durch Annahme einer Dauerkontraktur, denn es bliebe ganz unklar, warum sich diese gerade bei den kurzen Bewegungen entwickeln sollte. Vielmehr erklärt sich uns diese Pause wohl am ungezwungensten aus der Annahme einer Latenzzeit zwischen zwei Innervationen. Die Agonisten müssen außer Tätigkeit gesetzt werden, die Antagonisten in Tätigkeit treten, und diese Prozesse brauchen Zeit. Ist die Bewegung von relativ längerer Dauer, so kann diese Latenzzeit noch völlig in die Zeit der einen Bewegung (der Agonistenbewegung) fallen, so daß die Antagonistenbewegung unmittelbar anschließt. Ist die Bewegungszeit zu kurz, so muß eine Zwischenzeit ohne Bewegung da sein. Vergleichen wir die Zeiten der Bewegung in unseren Kurven, so finden wir, daß z. B.

---

1) Neuerdings mit besseren Zurüstungen ausgeführte Versuche lieferten einwandfreiere Kurven.

in der Tafelfig. 1 die Agonistenbewegung etwa $^9/_{100}$ Sek. dauert, bei dieser schließt die Rückstoßbewegung unmittelbar an; in der kurzen, von derselben Vp. (J) stammenden Tafelfig. 4 dauert die Bewegung nur $^6/_{100}$ Sek., es bleibt dann eine Pause von etwa. $^3/_{100}$ Sek. bis zur Rückstoßbewegung. In Tafelfig. 6, welche von einer anderen Vp. (Pl.) stammt, dauert die Hinbewegung etwa $^{11}/_{100}$ Sek., auf sie folgt der Rückstoß unmittelbar; bei der von derselben Versuchsperson stammenden kurzen Kurve (Tafelfig. 5) dauert die Beugebewegung nur etwa $^8/_{100}$ Sek., auf sie folgt dann eine etwa $^4/_{100}$ Sek. währende Pause bis zur antagonistischen Bewegung. Ähnliche Verhältnisse demonstrieren die Tafelfig. 2 bzw. 8 u. 7, welche von einer dritten Vp. (Mo.) stammen. In der umfangreicheren Bewegung, welche die Tafelfig. 2 u. 8 zeigen, dauert der Hinweg bis zum Rückstoß je etwa $^{11}/_{100}$ Sek., hier schließen sich die Rückstoßbewegungen unmittelbar an. Bei der kurzen Bewegung der Tafelfig. 7 fällt auf die Beugebewegung nur eine Zeit von $^7/_{100}$ Sek., worauf dann eine Pause von etwa $^3/_{100}$—$^4/_{100}$ Sek. folgt. Wir finden hier also bei verschiedenen Personen und unter etwas verschiedenen Geschwindigkeitsverhältnissen — wir werden später sehen, daß wesentliche individuelle Differenzen in dieser Hinsicht bestehen — eine analoge Tatsache offenbar werden. Die schnelle Bewegung muß eine gewisse Minimalzeit dauern — welche für die einzelnen Personen etwas wechselt, je nach der Geschwindigkeit, die diese Personen überhaupt entwickeln —, wenn der Rückstoß sich unmittelbar an sie anschließen soll. Bleibt die Bewegung unter dieser Minimalzeit, so findet der Rückstoß erst nach einer entsprechenden Pause statt. Und wir glauben berechtigt zu sein, die Pause im Sinne einer Latenzzeit zu deuten.

Zur weiteren Stütze dieser Ansicht sei noch ein Hinweis auf Erscheinungen vorweggenommen, welche später noch genauer erörtert werden müssen, der Hinweis auf die Tatsachen der Bremsung. Es ist bereits erwähnt worden (S. 33), daß bei kurzen Bewegungen der Rückstoß am schlechtesten, fast gar nicht, unterdrückt werden kann. Wir beziehen diese Tatsache auf genau dieselben Gründe, welche das Auftreten der Pause bedingen. Die Bremsung des Rückstoßes kommt zustande — wie noch genauer zu behandeln sein wird — durch Innervationen, sowohl des Agonisten, wie des Antagonisten, welche dem Rückstoß vorbeugen. Diese Innervationen und ihre Er-

folge finden keine Zeit für den Eintritt bzw. die Entwicklung, wenn die Bewegungsdauer zu kurz ist — infolgedessen dann hier ungehemmter Rückstoß.

Mit diesen Hinweisen zur Sicherung unserer Anschauung von der Natur des Rückstoßes, müssen wir uns vorerst begnügen. Sie sind gewiß nicht lückenlos. Endgültig wird die Frage erst durch den Nachweis der Innervationsverhältnisse entschieden werden können, wie sie wohl mit Hilfe der Ableitung der Aktionsströme möglich sein wird. Eine Stütze werden solche Untersuchungen auch erhalten können durch genaueres Aufschreiben der resultierenden Kurven zugleich mit den Dickenkurven der tätigen Muskeln.

Vorerst sind aber noch zwei weitere Möglichkeiten der Entstehung des Rückstoßes zu diskutieren.

Die eine entspricht wohl der Ansicht der Forscher, welche das Rückstoßphänomen gesehen haben, ohne daß es für sie ein weiteres Problem wurde. Diese Autoren hielten den Rückstoß einfach für einen zweiten Willkürakt, der sich an den der ersten (Hin-) Bewegung anschloß. — Das ist etwa die Anschauung von v. Kries, der noch darauf hinweist, daß diese Rückbewegung brüsker ausfalle als die Hinbewegung; auch die von H. E. Hering, welcher die Rückbewegung als eine über das Ziel hinausschießende willkürliche Bewegung auffaßt.

Demgegenüber ist zu betonen, daß schon eine einfache und jederzeit leicht anzustellende Selbstbeobachtung genügt, um die Unrichtigkeit dieser Anschauung zu erweisen. Macht man solche Versuche, bzw. läßt sie machen, bevor noch ein besonderes Augenmerk auf den Rückstoß gerichtet wird, so tritt bei einer schnellen Bewegung die Erscheinung ein, ohne daß überhaupt irgend eine Absicht, die sich auf sie beziehen könnte, vorhanden war. Sie muß sicher als eine unwillkürliche bezeichnet werden. Kennt man das Phänomen schon, und richtet seine Aufmerksamkeit besonders darauf, so kann man sich auf dreierlei Art gegen die Erscheinung verhalten. Man kann erstens beabsichtigen möglichst passiv zu bleiben und den Rückstoß ungestört zur Wirkung kommen zu lassen, wie er eben eintritt; man kann zweitens den Rückstoß »betonen«, ihn willkürlich besonders verstärken, und man kann drittens streben ihn zu bremsen,

ihn nicht zustande kommen zu lassen. All diese drei Einstellungen geben voneinander verschiedene Kurven, aber bei allen ist keine Rede davon, daß irgendwie der Wille da ist, durch eine zweite Bewegung die erste abzuschließen. Bei der ersten Verhaltungsweise erlebt man das Eintreten der Erscheinung vollkommen wie einen Reflex, jedenfalls wie einen dem Willen entzogenen Vorgang; bei der dritten erfährt man, daß man ihn überhaupt nicht unterdrücken kann, und bei der zweiten hat man durchaus das Bewußtsein, einen maschinenmäßig eintretenden Vorgang für eine willkürliche Weiterführung der Bewegung auszunutzen. Diese Beobachtungen sind so leicht und jederzeit von neuem zu machen, daß ein Zweifel an der Tatsache des unwillkürlichen Zustandekommens des Rückstoßes schon nach einer solchen Überlegung nicht bestehen kann.

Allein auch das objektive Bild unserer Kurven genügt, um die Ansicht von der Aufeinanderfolge zweier Willkürakte zu widerlegen. Wie die Figuren zeigen, ist die ganze Dauer solcher schnellen Bewegungen eine sehr kurze. Es kann keine Rede davon sein, daß im Ablauf der Bewegung eine neue Willkürhandlung die Rückbewegung bedingte, es müßten dann beträchtliche Pausen zwischen den beiden Bewegungen eintreten — wissen wir doch, daß auch die schnellste willkürliche Reaktion auf einen Reiz (die extrem muskuläre im Reaktionsversuch) nicht unter $^{10}/_{100}$ Sek. betragen kann. Es müßten also die beiden Willkürimpulse unmittelbar nacheinander vor dem Beginn der Bewegung erfolgen. Dem widerspricht nicht nur die Selbstbeobachtung auf das entschiedenste, sondern auch die Reaktionszeit, von der bekannt ist, daß sie mit der Komplikation der Willenshandlung (wie sie doch eine solche Aneinanderfügung zweier Willkürbewegungen darstellt) ansteigt, während unsere extrem »motorischen« Fingerbewegungsreaktionen mit ausgiebigem Rückstoß in der Regel kurze, »muskulären« Reaktionen entsprechende Reaktionszeiten haben. Endlich ist es ein leichtes, Willkürbewegungen aufzuzeichnen, bei welchen wirklich eine Hinbewegung von einer willkürlichen Rückbewegung gefolgt wird. Solche Bewegungen werden spätere Kurven zeigen; bei ihnen verfließen nicht unbeträchtliche Zwischenzeiten zwischen der Hin- und Rückbewegung. Es sind übrigens Bewegungen, die unter einer gewissen

Geschwindigkeit bleiben müssen, weil sonst unweigerlich Rückstoß eintritt[1]).

Es bleibt aber noch eine andere Entstehungsmöglichkeit des Rückstoßes, der reflektorische Ursprung, zu erörtern. Diese Auffassung würde Anschauungen entsprechen, welche insbesondere H. E. Hering vertreten hat[2]); nicht gerade für den Rückstoß, welchen er in der kurzen Bemerkung in der er ihn erwähnt, wie schon gesagt, mehr für ein Willkürphänomen hält, aber doch für die geordnete Ausführung, die »Koordination«, der Bewegungen. Indem nämlich Hering die Theorie von der gleichzeitigen Innervation des Antagonisten verworfen hat, sucht er die Bedeutung von reflektorischen Innervationen für den korrekten Ablauf der Bewegung darzutun. Dehnung des Muskels soll nach Hering durch Vermittlung der vom Muskel selbst ausgehenden zentripetalen Bahnen seine Kontraktion bewirken. Sind diese Bahnen wie bei der Tabes dorsalis, gestört, so kommt es zu der »zentripetalen Ataxie«, indem infolge Wegfalls der reflektorischen Regulation, der Dämpfung durch die Antagonisten, die Bewegung eine exzessive Größe, eine abnorme Geschwindigkeit und Richtung erhält.

Die Auffassung des Rückstoßes als einer reflektorischen Erscheinung wäre zunächst gewiß nicht unwahrscheinlich. Für sie sprächen insbesondere die über die Ataxie gewonnenen Erfahrungen, welche auch an einigen Kurven noch weiterhin erörtert werden sollen. Gegen die Auffassung spricht freilich von vornherein die Tatsache der Erschlaffung der Antagonisten, die der Dehnung vorbeugt, und das lebhafte Auftreten des Rückstoßes bei kurzen Bewegungen, bei welchen die Dehnung unmöglich einen großen Grad erreicht haben kann. Gegen sie

1) Es sei hier, um Mißverständnisse über die Methodik der Versuche auszuschließen, bemerkt, daß die Reaktionsversuche zunächst immer ganz unbeeinflußt hinsichtlich des Rückstoßes blieben. Die Instruktion lautete nur: Auf Erscheinen eines Signals sofort eine Bewegung machen. Gewöhnlich achteten die Versuchspersonen gar nicht darauf, daß ein Rückstoß eingetreten war. Erst wenn genügende Serien solcher ganz unbeeinflußter Versuche gewonnen waren, wurden besondere Experimente mit Modifikation des Rückstoßes »hemmen«, »verstärken« angestellt (übrigens nur bei einigen Versuchspersonen).

2) Prager med. Wochenschr. 1896, Juliheft. Pflügers Archiv LXVIII, 1897; Neurol. Zentralblatt 1897, Nr. 23. Die Möglichkeit reflektorischer Momente bei der Antagonisteninnervation erörtert auch Rieger, Archiv für Psychiatrie XIII, S. 445, 455; er kommt jedoch zu einem ablehnenden Standpunkt.

sprechen aber vor allem die Erfahrungen Sherringtons von der »sekundären Induktion«, in denen er die auf die Hemmungserschlaffung folgende Verkürzung des Muskels nachweisen konnte, auch wenn der Muskel von der Insertionsstelle abgetrennt, also sicher nicht gedehnt worden war, und die jüngsten Ergebnisse, welche die »Verkürzungs- und Verlängerungsreaktion« des Muskels aufzeigten. Danach reagiert der Muskel im propriorezeptiven Reflex überhaupt nicht ohne weiteres auf Dehnung mit Verkürzung, sondern er behält die Stellung bei, welche ihm erteilt wird. Es sind also die Verhältnisse sehr verwickelt, und die Anschauung von einem bloßen Dehnungsreflex dürfte doch wohl zu schematisch sein. —

Es wäre ja endlich auch möglich, einen solchen »Rückstoßreflex« auf Veränderungen zurückzuführen, die nicht gerade durch Dehnung hervorgerufen zu sein brauchen; die bei Erschlaffung der Anatagonisten und bei Aufhören derselben eintretenden Veränderungen könnten ja schon allein genügen, durch Vermittlung zentripetaler Elemente die der Erschlaffung folgende Kontraktion zu bedingen. Diese Auffassung wäre freilich unmöglich, wenn die sekundäre Induktion auch nach Durchschneidung der afferenten Nerven aufträte.

Es hat keinen Sinn, sich weiter in Überlegungen einzulassen, die bei dem jetzigen Zustand der Erkenntnisse notwendig nur einen mehr spekulativen Charakter tragen können. Was wir festhalten müssen, ist, daß wir allen Grund haben, den Rückstoß für den Effekt einer unwillkürlichen Innervation zu halten, ganz gleich, ob wir diese im Sinne eigentlicher Reflexe deuten oder der »sekundären Induktion« zuschreiben.

Die eingehende Erörterung der Erscheinungsweise des elastischen Rückstoßes und seiner vermutlichen Natur war notwendig angesichts der großen Bedeutung, welche diesem Phänomen für die Ausführung unserer Bewegungen dauernd zukommt.

Schon Rieger hat eingehend darauf hingewiesen, daß bei all unseren Willkürbewegungen danach gefragt werden müsse, ob sie mit oder ohne elastischem Rückstoß zustande kommen. Tatsächlich ist die Form der Willkürbewegung durchgehends bestimmt durch ihr Verhältnis zum Rückstoß; ob der Rückstoß unbeeinflußt zur Entwicklung kommt, ob er gebremst, ob er für weitere Bewegungen verwertet wird, ob endlich jede Rückstoßentwicklung durch bestimmte

Regelung der Bewegung überhaupt vermieden wird, das verleiht der Bewegung jedesmal ihre ganz bestimmte Form. Und man darf es wohl aussprechen, daß es überhaupt keine Bewegung gibt, in welcher die Intention[1]) nicht auf das Rückstoßphänomen Rücksicht nähme, wenn auch diese Rücksichtnahme nur selten als Absicht im Bewußtsein zutage tritt.

Welche große Bedeutung der ungehemmte Rückstoß für eine beträchtliche Zahl unserer Willkürbewegungen hat, darauf hat Rieger schon in sehr einleuchtenden Ausführungen aufmerksam gemacht. Er hat gezeigt, daß wir sehr schnell aufeinander folgende Bewegungen, wie z. B. schnelles Hin- und Herbewegen eines Gliedes, überhaupt nur mit Hilfe des Rückstoßes zustande bringen können. Bremsen wir den Rückstoß ab und fügen eine neue Willkürbewegung an, so werden die Zwischenzeiten zwischen den Einzelbewegungen recht beträchtlich. Und er hat die Bedeutung solcher Rückstoßbewegungen für manche unserer gewöhnlichsten Handlungen, insbesondere aber für das Schreiben, in vielen schönen Einzelhinweisen klar gelegt[2]).

Allerdings handelt es sich, wie leicht gezeigt werden kann, bei diesen Bewegungen mit Rückstoß nicht einfach um das unbeeinflußt bleibende Phänomen. Als solches kommt es wohl nur selten in unseren Willkürhandlungen vor. Im allgemeinen wird bei solchen, insbesondere den fortlaufenden Bewegungen, der Rückstoß benutzt, d. h. die unwillkürlich auftretende Erscheinung wird im Ablauf der Bewegung weiter verwertet. Wie das gemeint ist, mögen die folgenden Tafelfiguren (13, 14) zeigen. Auf ihnen stammt jeweils die obere Reihe kleinerer, wie von Pendelschwingungen herrührender Kurven von einer fortlaufenden, schnellen Hin- und Herbewegung des Zeigefingers; die darunter gezeichneten und in die obere Reihe hineinragenden Einzelkurven rühren von einfachen Fingerbewegungen mit Rückstoß her. Man sieht, daß der Rückstoß in der oberen und unteren Reihe nicht dasselbe Ding ist. Er ist bei der fortlaufenden Bewegung etwas modifiziert, in der Fortbewegung weiter benutzt, gewissermaßen willkürlich »überinnerviert«. Die Ausmessungen der Kurven verdeutlichen

1) Der Ausdruck »Intention« wird hier durchweg als psychologisch indifferenter Terminus gebraucht mit der Bedeutung der Zielbestimmung, ohne dabei über die Bewußtseinstatsachen Näheres aussagen zu wollen.

2) Vgl. a. a. O. S. 390, 404 ff.

diese Tatsache zahlengemäß. So ist z. B. bei den fortlaufenden Bewegungen der Tafelfig. 13 im Durchschnitt die Gesamtbewegung 37,5, die höchste Einzelgeschwindigkeit 8,9, die Durchschnittsgeschwindigkeit 6,3; dieselben Werte bei den Einzelbewegungen betragen im Durchschnitt G. B. 54, H. G. 18, D. G. 11.

Die Kurven stimmen mit den Tatsachen der Selbstbeobachtung gut zusammen. Man hat bei solchen fortlaufenden Rückstoßbewegungen durchaus das Bewußtsein, ein mechanisch ablaufendes Geschehen durch hin und wieder erfolgende willkürliche Impulse in bestimmter Weise zu regeln.

Wir benutzen aber, wie schon bemerkt, den Rückstoß nicht nur für fortlaufende Bewegungen; wir gebrauchen ihn auch, wenn auch seltener, für kürzere Einzelbewegungen. Besonders Bewegungen, die nur in einem einmaligen schnellen Hin und Her bestehen, wobei die Hauptbewegung die zweite ist (wie z. B. bei einem schnellen Ausholen vor dem Wurf), bedeuten eine Ausnutzung des Rückstoßes für einen bestimmten Zweck.

Wie solche Bewegungen sich in unserer Versuchsanordnung darstellen, demonstrieren die folgenden Figuren. Sie stammen von Bewegungen, bei denen die Intention war, den Rückstoß zu »betonen«, die Vorbewegung (in unserem Fall Beugung) nur als Auftakt gewissermaßen für die Streckung zu benutzen. Die Tafelfig. 15 zeigt eine solche Bewegung. Sie stammt von der gleichen Vp. (J.) wie z. B. die Tafelfig. 1 und 13, 14; während aber diese Kurven unbeeinflußten Rückstoß darstellen, ist dieser in der letzten Figur besonders akzentuiert. Man sieht an der Kurve, daß der absteigende Ast (die Streckung), wesentlich länger ist als der aufsteigende (die Beugung); überdies ist der erstere viel steiler als der letztere, d. h. die Streckung ist viel geschwinder ausgeführt als die Beugung. So kommt es auch, daß diese, obgleich die Bewegung bis zur Bremsung am Gelenk ausgeführt worden ist (über die später noch Genaueres gesagt werden soll), einen kleinen Rückstoß (in die Beugung) am Schluß der Streckung zeigt. Die folgende Textfigur (5) zeigt die Geschwindigkeitskurve dieser Bewegung in den Wegstrecken, die auf je $^1/_{100}$ Sek. entfallen[1]). Der Unterschied zwischen der Hin- und Rückstoßbewegung ist sehr auf-

1) Zum Verständnis dieser, wie aller ähnlichen Kurven werde festgehalten, daß die Kurve der positiven Ordinaten der Beugung, die der negativen Ordinaten

fallend. Im Gegensatz zu dem sonstigen Verhalten (vgl. Textfig. 6a) ist hier der Rückstoß die bei weitem geschwindere und sich zu der Höchstgeschwindigkeit schneller entwickelnde Bewegung. Wir sehen bei der Beugung (positive Ordinaten) ein sehr allmähliches Anwachsen der Wegzahlen, dann ein ungefähres Konstantbleiben der Höchstgeschwindigkeit (durch $^4/_{50}$ Sek.), endlich einen schnellen Abfall und

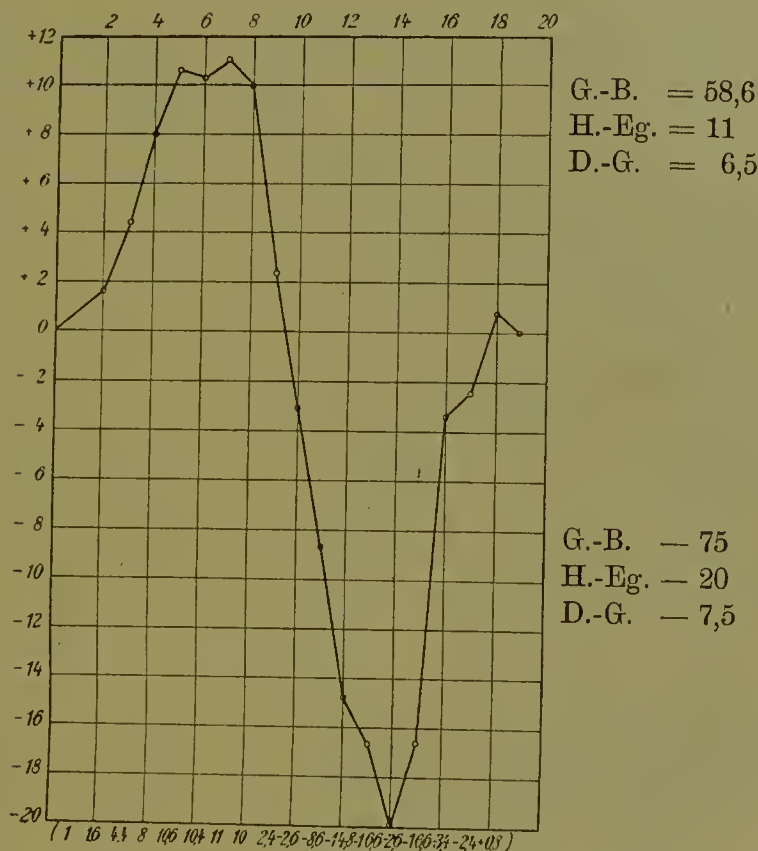


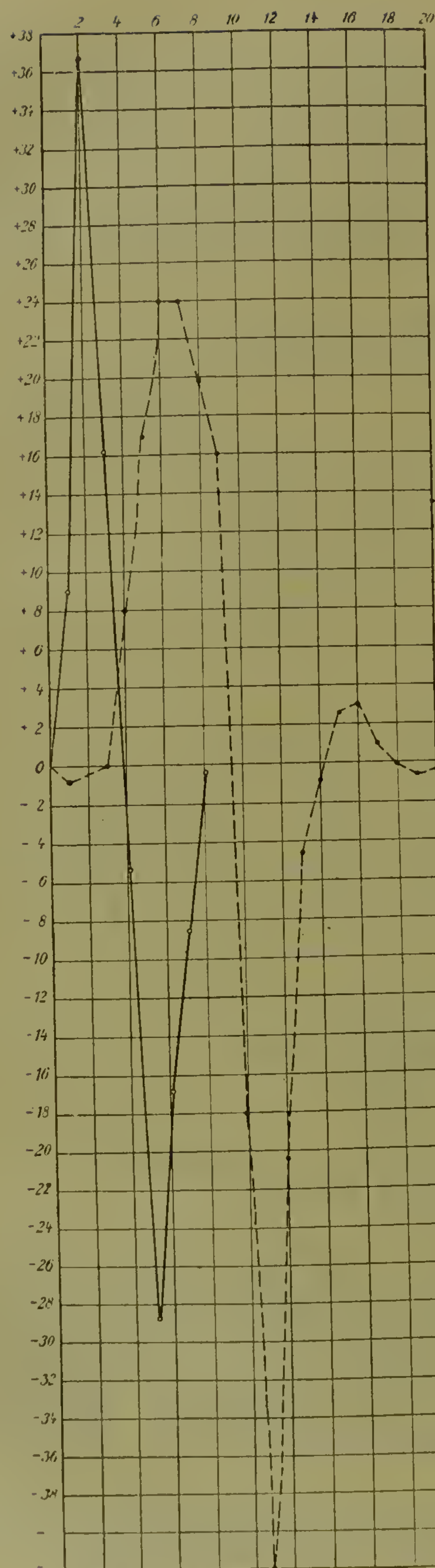
Fig. 5.

Geschwindigkeitskurve zu Tafelfig. 15. Rückstoß betont.
Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Übergang in die Rückstoßbewegung. Bei dieser (negative Ordinaten) finden wir ein schnelleres Ansteigen zur Höchstgeschwindigkeit; diese letztere erreicht einen höheren Betrag, ebenso der Umfang der Bewegung. Die charakteristischen Zahlen sind für die Beugung: Gesamtbewegung 58,6; höchste Einzelgeschwindigkeit 11; Durchschnitts-

---

der Streckung (Rückstoß) entspricht. Die Durchkreuzung der Abszisse bezeichnet den Übergang vom Hin- in den Rückweg (= Gipfel der Bewegungskurve).



G.-B. = 62,0
D.-G. = 20,7
H.-G. = 36,8

G.-B. = 90°
H.-Eg. = 24°
D.-G. = 9,4°,13)

Fig. 6a und 6b.

—— Fig. 6a. Geschwindigkeitskurve einer schnellen Bewegung mit unbeeinflußtem Rückstoß. Vp. J. Zeit in $^1/_{50}$ Sek.

- - - Fig. 6b. Geschwindigkeitskurve einer Bewegung mit betontem Rückstoß. Vp. J. Zeit in $^1/_{40}$ Sek.

geschwindigkeit 6,5; für die Streckung: Gesamtbewegung 75; höchste Einzelgeschwindigkeit 20, Durchschnittsgeschwindigkeit 7,5.

Den Einfluß der Rückstoßbetonung verdeutlichen auch die nächsten beiden Figuren, welche Geschwindigkeitskurven von Bewegungen derselben Vp. (J.) zeigen; nur sind hier die speziellen Einstellungen noch besser gelungen. Textfig. 6b stellt die Bewegung mit »betontem« Rückstoß dar. Die Erscheinungen sind analog denen in Textfig. 5; nur sind die Kontraste noch größer. Im Wesen durchaus gleiche Gesetzmäßigkeiten repräsentiert eine Reihe anderer Kurven, die aufgezeichnet und vermessen worden sind.

Als eine besondere Art der schnellen Bewegung hatten wir solche mit Unterdrückung des Rückstoßes kennen gelernt. Tafelfig. 16 zeigt eine derartige schnelle Bewegung, bei welcher der Intention gemäß der Rückstoß unterdrückt worden ist, bzw. es versucht wurde, den Rückstoß zu unterdrücken. Führt man solche Bewegungen aus, so hat man selbst deutlich das Gefühl der Schwierigkeit des Unternehmens und der Unzulänglichkeit des Erfolgs; man kann tatsächlich, wenn man nicht äußere Bremsung zu Hilfe nimmt, sehr schlecht schnell bewegen und dabei den Rückstoß unterdrücken. Diese Bewegungen kommen im allgemeinen recht selten vor. Sie haben von vornherein etwas Gezwungenes und Gequältes.

Die Kurven unterscheiden sich auf den ersten Blick von den freien, ungehemmten Kurven mit Rückstoß. Tafelfig. 16 ist von derselben Vp. (J.) gewonnen wie Tafelfig. 1. Sie ist gegenüber der letzteren stark verkürzt, dabei nach steilem Anstieg wie plötzlich »abgehackt«. Trotzdem ist der Rückstoß nicht ganz unterdrückt. Ähnlich sind die Tafelfig. 17 und 18, welche von derselben Vp. (Mo.) stammen wie Tafelfig. 2 und 8. Auch hier nach steilem Anstieg plötzliches Abbrechen der Bewegung und stärkere, fast vollkommen gelungene Unterdrückung des Rückstoßes. Weiteren Aufschluß über die Natur dieser Kurven geben uns die Resultate der Ausmessung. Die Textfig. 7a und 7b stellen Geschwindigkeitskurven von Vp. J. dar. Fig. 7a ist eine Bewegung mit ungehemmtem Rückstoß [1]), 7b eine solche mit gehemmtem. In 7a ist der Gesamtweg größer als in 7b (66,7 gegen 51), dabei auch allmählicher; besonders gilt

1) Es wurde hier mit Absicht von Vp. J. eine Kurve mit nicht zu exzessiven Werten gewählt, welche einen nicht erheblich größeren Bewegungsumfang

das vom Abfall; der Rückstoß ist in 7a wesentlich umfangreicher als in 7b. Deutlicher werden die Unterschiede, wenn man die Beschleunigungskurven[1]) dieser Bewegungen vergleicht. (8a, b; bei der Beschleunigungskurve 8a ist der negative Vorschlag der Bewegung nicht berücksichtigt). Die Unterschiede des Beschleunigungsanstieges und -Abfalles treten in diesen Kurven sehr auffallend hervor. In 8a

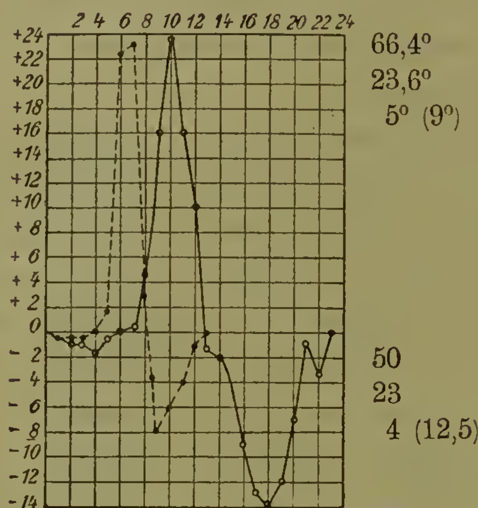


Fig. 7a und 7b.

—— Fig. 7a. Geschwindigkeitskurve einer ungehemmten Rückstoßbewegung. (Vgl. auch Fig. 6a.) Vp. J. Zeit in $^1/_{50}$ Sek.

--- Fig. 7b. Geschwindigkeitskurve eines gehemmten Rückstoßes. Vp. J. Zeit in $^1/_{50}$ Sek.

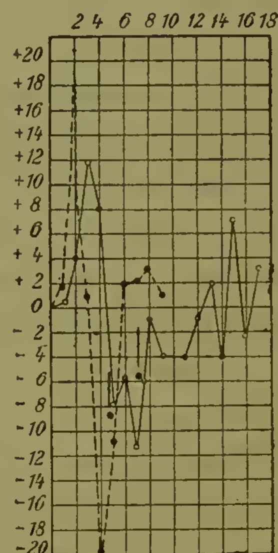


Fig. 8a und 8b.

—— Fig. 8a. Beschleunigungskurve zu 7a. Negativer Vorschlag nicht berücksichtigt.

--- Fig. 8b. Beschleunigungskurve zu 7b. Negativer Vorschlag nicht berücksichtigt. Bei ! Rückstoß.

sind die Beschleunigungswerte bis zur Erreichung der Höchstgeschwindigkeit 0,4, 12, 7; in Fig. 8b: 1,8, 20,6, 06. In 8b ist die Höchst-

---

hatte, als die gehemmte Kurve (Fig. 7b). Im allgemeinen lieferte J. Kurven, wie sie die Textfig. 6a und 12a demonstrieren. Doch gilt das hier Gesagte mit entsprechender Abänderung auch von jenen.

1) Zum Verständnis der Beschleunigungskurven werde berücksichtigt, daß in ihnen sowohl Verlangsamungen wie Rückbewegungen als negative Ordinaten eingetragen sind. Doch wird der Moment des Rückstoßes (Übergang in die negative Bewegung) jeweils durch ein Ausrufungszeichen gekennzeichnet. Die Verlangsamung der negativen Bewegung wird wiederum durch positive Ordinaten dargestellt, ebenso wie die positive Bewegung selbst.

geschwindigkeit also schon fast im zweiten Zeitteil erreicht; der dritte bringt nur noch einen kleinen Zuwachs. Noch wesentlicher sind die Differenzen im Geschwindigkeitsabfall (die negativen Ordinaten der Kurven). In 8a ist dieser Abfall ein allmählicherer als in 8b.

Interessant sind nun die Verhältnisse dieser Beschleunigungen bzw. Verlangsamungen zum Rückstoß. In den beiden Fig. 8a, b ist der Moment des Rückstoßbeginns durch ein Ausrufungszeichen gekennzeichnet. Es erfolgt bei 8a der Rückstoß nach der sechsten $^1/_{50}$ Sek., bei 8b nach der fünften $^1/_{50}$ Sek. Wichtig ist nun die Feststellung, wieviel von der Geschwindigkeit vor dem Rückstoß durch Verlangsamung aufgehoben worden ist. Bei einer ideal gebremsten Bewegung müßte die Geschwindigkeit vollkommen aufgehoben werden ohne Rückbewegung (nach der Gegenseite). Sehen wir uns unsere Figuren unter diesem Gesichtspunkte an, so haben wir bei 8a vor dem Zeitteil des Rückstoßes eine negative Beschleunigung (Verlangsamung) von $7{,}6 + 6 = 13{,}6$; bei 8b (der gehemmten Bewegung) eine solche von 20. Da die Höchstgeschwindigkeit in 7a 23,6 betrug und von ihr vor dem Zeitteil des Rückstoßes 13,6 aufgehoben worden sind (durch Verlangsamung), so sind also 10 übrig geblieben. Bei 7b betrug die Höchstgeschwindigkeit 23; davon sind abgebremst vor dem Zeitteil des Rückstoßes 20, Rest also 3. Diese Betrachtungen sind nicht ganz genau (vgl. die Erörterungen S. 60). Immerhin verdeutlichen die Figuren genügend das, was wir betonen wollen, nämlich, daß bei den Kurven mit »gehemmtem Rückstoß« der größte Teil der Geschwindigkeit durch Verlangsamung aufgehoben ist, bevor der Rückstoß eintritt.

Nun fragt es sich, was wohl als Ursache der Verlangsamung solcher Willkürbewegungen angenommen werden kann. Hier kommen wieder die beiden Momente in Betracht, die wir dauernd diskutieren: Agonisten- und Antagonistenwirkungen. Die Agonisten erhalten bei der Bewegung von vornherein eine Innervation, die der Intention entspricht. Sobald sie außer Tätigkeit treten, erhalten wir Verlangsamung und Stillstand der Bewegung. Andererseits haben wir jedesmal, wenn Antagonisten eingreifen, eine bedeutende Abnahme der Geschwindigkeit. Vergegenwärtigen wir uns diese beiden Möglichkeiten bei Betrachtung unserer Kurven und halten uns dazu an die Selbstbeobachtungen, die wir machen, wenn wir die Bewegung hemmen, so

begehen wir wohl keine Voreiligkeit, wenn wir die beträchtliche Verlangsamung vor Eintritt des Rückstoßes bei der gehemmten Bewegung auf Bremsung durch die Antagonisten zurückführen und den Satz aussprechen: Jede schnelle Bewegung zeigt um so weniger Rückstoß, je mehr sie vor Eintritt des Rückstoßes abgebremst worden ist[1]. Wir gehen dabei immer von der Anschauung aus, daß der Rückstoß auf einer Innervation der Antagonisten beruht, die mit der Aufhebung der Innervation der Agonisten verknüpft ist (welche ihrerseits mit der Hemmungserschlaffung der Antagonisten bzw. dem Aufhören derselben zusammenhängt). Dieses Phänomen (die Rückbewegung) tritt nun, das darf man wohl aus unseren Kurven lesen, nicht oder nur wenig ein, sobald die Bewegung vor dem Rückstoß durch die Antagonisten gebremst wird. In der ungehemmten Bewegung beendet der Rückstoß die Bewegung zugleich mit Rückschlag in die entgegengesetzte Seite; bei der gehemmten Bewegung wird der Rückstoß um so mehr vermieden, je mehr es gelingt, vor seinem Eintritt durch Antagonisten die Bewegung abzubremsen.

Wir dürfen vorgreifend in diesem Zusammenhang auf die langsame Willkürbewegung hinweisen, welche keinen Rückstoß zeigt. Bei der langsamen Bewegung sind wohl sicher, wie schon die Betrachtung und Betastung der bewegten Glieder lehrt, die Antagonisten als »Moderatoren« in Tätigkeit; es ist für die augenblicklich erörterte Frage wohl gleichgültig, ob diese »Moderation« durch gleichzeitige oder nachfolgende (ev. reflektorische) Innervation der Antagonisten erfolgt. Jedenfalls darf man sagen, daß das langsam bewegte Glied dauernd unter dem Einfluß beider antagonistischen Muskelbereiche steht. Bei der schnellen Bewegung muß der Antagonist erschlafft sein, um eine möglichst geschwinde Bewegung zu ermöglichen und tritt dann im Rückstoß in Tätigkeit; oder es greifen, falls die schnelle Bewegung gehemmt werden soll, bremsende Kontraktionen der Antagonisten in der Hemmung dem Rückstoß vor, können ihn aber im allgemeinen nicht völlig aufheben, weil eben die Zeitverhältnisse eine genügende Bremsung der Bewegung, die ja doch schnell sein und plötzlich aufhören soll,

---

1) Je schneller die Bewegung ist, und je stärker die Bremsung eingreift, um so mehr erhält die Kurve das Aussehen, als ob sie »abgehackt« wäre (z. B. Tafelfig. 16 und Textfig. 7b).

nicht gestatten. So etwa dürfen wir uns wohl im Anschluß an unsere Kurven diese Vorgänge vorstellen.

Die hier wiedergegebenen Musterkurven sind nur Beispiele für Gesetzmäßigkeiten, die in einer beträchtlichen Anzahl von Versuchen zu beobachten waren. Die oben genannte Annahme fand sich durchweg durch sie gestützt, daß nämlich die Unterdrückung des Rückstoßes besteht in der Bremsung vor dem Rückstoß. Dabei

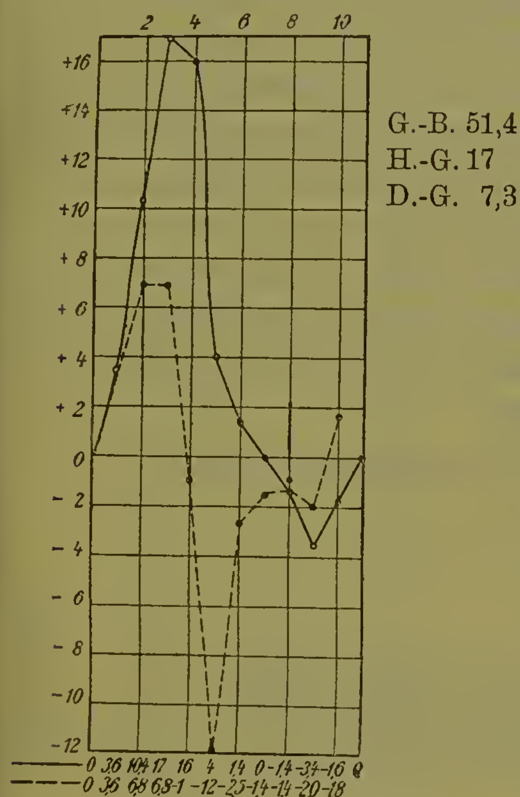


Fig. 9a und b.

Gehemmter Rückstoß. —— a Geschwindigkeits-, - - - b Beschleunigungskurve; in dieser bezeichnet ! den Zeitteil des Rückstoßes. Vp. Mo.

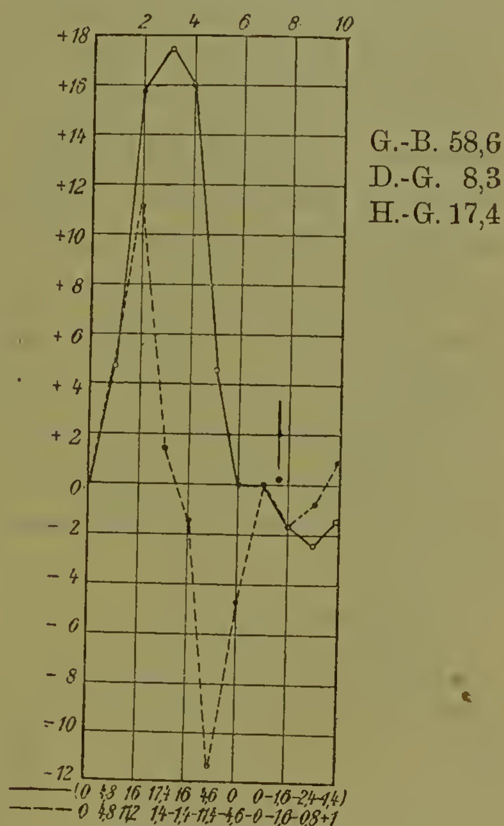


Fig. 10a und b.

Gehemmter Rückstoß. —— a Geschwindigkeits-, - - - b Beschleunigungskurve. ! bezeichnet den Moment des (geringen) Rückstoßes. Vp. Mo.

brauchen die Verlaufsformen nicht immer genau dasselbe Bild zu bieten, wie die eben diskutierten Kurven. Wesentlich ist nur, daß bei allen gehemmten Kurven die Verlangsamung relativ früh vor dem Rückstoß in starkem Maße einsetzt und einen im Verhältnis zu dem Betrag der erreichten Geschwindigkeit hohen Grad erreicht. Die Summe der negativen Beschleunigung muß vor dem Rückstoß möglichst groß werden, damit der letztere erfolgreich unterdrückt wird.

Die nächsten Figuren sollen diese Behauptungen noch weiter stützen. Sie demonstrieren in einzelnen Verschiedenheiten immer dasselbe Gesetz. Tafelfig. 17 und 18 zeigten zwei Hemmkurven von Vp. Mo.; Textfig. 9 und 10 (a, b) geben die Ausmessungen dazu. In Fig. 9 erfolgt der Rückstoß in der achten $^1/_{50}$ Sek. Die höchste Einzelgeschwindigkeit beträgt 17 (vgl. Kurve 9a); die Summe der Minusbeschleunigungen vor dem Rückstoß beträgt 16,4. In Fig. 10a beträgt die höchste Einzelgeschwindigkeit 17,4, die Summe der Minusbeschleunigungen vor dem Rückstoß 17,0; bei diesen beiden Hemmungskurven (vgl. Tafelfig. 17, 18) ist auch der Rückstoß sehr gering. Halten wir dagegen die Textfig. 11, welche eine Bewegung mit kräftigem Rückstoß, von derselben Versuchsperson stammend, darstellt, so sehen wir auch hier leicht den charakteristischen Unterschied, der besonders in der Beschleunigungskurve deutlich wird. Die höchste Einzelgeschwindigkeit beträgt 27, abgebremst vor dem Rückstoß sind 22,2, es bleibt also noch eine Geschwindigkeit von etwa 4,3 für den Moment, in welchen bereits der Rückstoß fällt.

Ich füge noch einige weitere Wertzusammenstellungen aus den Kurven verschiedener Personen an.

Hemmkurven:

					Rest:
1.	Höchste Einzelgeschwindigkeit	19,	vor d. Rückstoß abgebremst (ganz geringer Rückstoß)	18	1
2.	» »	25	(mäßiger Rückstoß)	23	2
3.	» »	17,4	(ganz geringer Rückstoß)	17,4	0

Demgegenüber bei sehr starkem Rückstoß:

					Rest:
4.	Höchste Einzelgeschwindigkeit	37	vor d. Rückstoß abgebremst	21	16
5.	» »	36,6	» » » »	26,2	10,4
6.	» »	35	» » » »	24	11

Klärend für die eben behandelte Frage ist auch noch ein Hinweis auf schon früher diskutierte Kurven, nämlich jene, welche den willkürlich betonten Rückstoß darstellen. In der Textfig. 6a war eine Bewegung mit kräftigem, unbeeinflußtem Rückstoß, und in Textfig. 5 und 6b waren solche mit besonderer Betonung der Rückstoßbewegung dargestellt. Die nächsten Figuren zeigen die Beschleunigungskurven dieser früher (S. 52) erörterten Bewegungen.

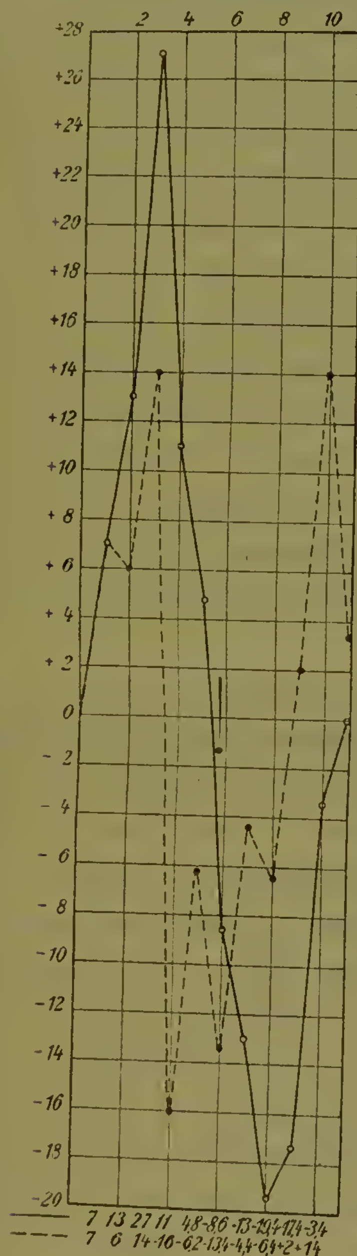


Fig. 11.
Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve einer Bewegung mit Rückstoß. Vp. Mo.

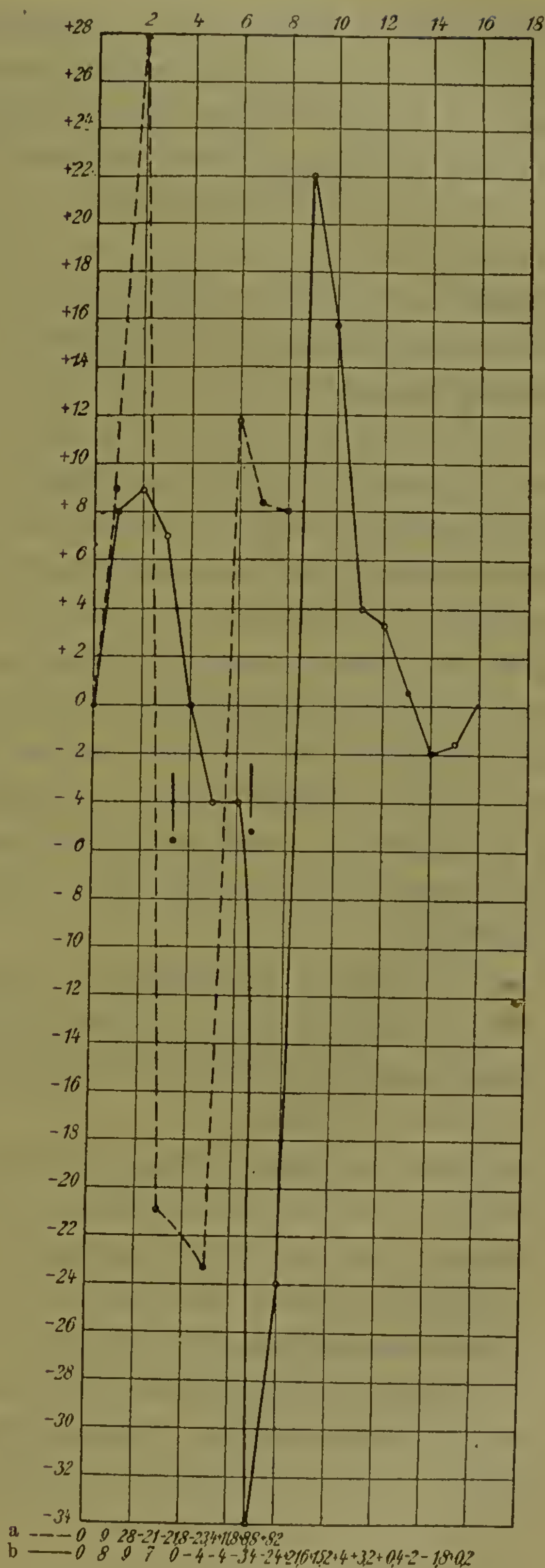


Fig. 12a und b.
Beschleunigungskurven zu Textfig. 6a, b.
! Zeitpunkt des Rückstoßes.

Wir sehen in Textfig. 12a mit unbeeinflußtem Rückstoß ein schnelles und hohes Ansteigen in der Beschleunigung und einen schnellen Abfall. Die höchste Einzelgeschwindigkeit (vgl. Geschwindigkeitskurve Textfig. 6a) beträgt 37; davon werden abgebremst vor dem Rückstoß, der in der vierten $^1/_{50}$ Sek. erfolgt, 21[1]; der Rückstoß ist sehr kräftig. In der Bewegung mit betontem Rückstoß wächst die Beschleunigung (Textfig. 12b) nicht so rapid an; sie erreicht in der ersten $^1/_{50}$ Sek. etwa denselben Grad wie bei Fig. 12a, bleibt aber dann ziemlich konstant. Infolgedessen ist die erreichte höchste Einzelgeschwindigkeit geringer (24) (vgl. Fig. 6b); von dieser wird nun vor dem Rückstoß im ganzen wenig abgebremst (Minusordinaten in Sa. 8), und der Rückstoß, der kräftig einsetzt (in der siebenten $^1/_{50}$ Sek.), trifft also noch eine relativ beträchtliche Geschwindigkeit an. Wir begehen wohl keine Unvorsichtigkeit, wenn wir diese Kurven in folgender Weise deuten: Bei den Bewegungen mit betontem Rückstoß wird die Innervation von vornherein so getroffen, daß unter Vermeidung allzu hoher Geschwindigkeit (welche die Bewegung zu einem für diesen Zweck vorzeitigen Ende führen müßte) einige Zeit hindurch eine mittlere Schnelligkeit eingehalten wird, dann plötzlich der Rückstoß (bei Aufhören der Agonisteninnervation) die Hinbewegung beendet und die Rückbewegung anschließt.

Ich habe in diesen letzten Erörterungen immer davon gesprochen, ob die Bewegung vor dem Rückstoß abgebremst wird (durch Antagonisteninnervation) oder nicht. Und ich habe als Zeitpunkt des Rückstoßes den Zeitteil (die $^1/_{50}$ Sek.) angesehen, in welchem die Rückbewegung beginnt, in unseren Geschwindigkeitskurven also die erste negative Ordinate. Nun ist dieses Verfahren natürlich ungenau; die Antagonistenkontraktion beginnt nicht einfach in dem Moment, in welchem die Rückbewegung merklich wird. Hat das Glied von der Agonistenbewegung her noch eine gewisse Geschwindigkeit, so muß der Antagonist in der Rückstoßkontraktion diese erst aufheben, bevor die Rückbewegung eintreten kann. Wir würden also für unsere Frage zu unterscheiden haben: 1. V e r l a n g s a m u n g d e r B e w e g u n g v o r d e m R ü c k s t o ß, bezogen auf Innervation der Antagonisten und

---

1) Es bleibt hier also ein Rest von 16, den der Rückstoß trifft. Dies zu der Anmerkung 1 auf Seite 53.

erschlossen aus dem Abfall der Geschwindigkeitsordinaten, bzw. dem Auftreten der negativen Beschleunigungsordinaten. Diese Verlangsamung beginnt unmittelbar im Anschluß an die erreichte höchste Einzelgeschwindigkeit und hebt, wenn sie ihr Ziel erreicht, die Bewegung noch vor Eintritt des Rückstoßes nahezu auf. In diesem Falle fast kein Rückstoß.

2. Die auf Antagonisteninnervation bezogene Verlangsamung entwickelt sich nicht vor dem Rückstoß. Die Bewegung wird langsamer infolge des Aufhörens der Wirksamkeit der Agonisten, die einsetzende Rückstoßkontraktion bremst den Rest der Geschwindigkeit ab und veranlaßt die Rückbewegung.

Nun sind das, was hier so geäußert wird, ja nur Schlüsse und Gedanken. Wir wissen nichts über den Moment zu sagen, in welchem die Rückstoßinnervation beginnt und können ebensowenig in unseren Kurven feststellen, wann die von uns bei der Hemmung angenommene, dem Rückstoß vorausgehende und ihn unmöglich machende Antagonistenwirksamkeit anhebt[1]). Was wir an unseren Kurven sehen, sind nur Beschleunigungen und Verlangsamungen, die früher oder später einsetzen, früher oder später einen bestimmten Grad erreichen können, und welche wir dann zu Deutungen benutzen. Dazu kommt, daß diese Deutungsversuche dann noch unsicherer werden müssen, wenn wir, wie so häufig, Übergangsfälle haben zwischen jenen extremen Grenzfällen, die wir als Bewegung mit starkem, unbeeinflußtem Rückstoß, mit betontem und mit gehemmtem Rückstoß gekennzeichnet haben.

In mancher Hinsicht verdeutlichen das, was wir eben über den gehemmten Rückstoß darzutun strebten, noch klarer Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungskurven, in welchen die Wegstrecken in $^1/_{100}$ Sek. ausgemessen worden sind. Solche Kurven werden etwas unübersichtlich wegen ihrer Länge, stellen aber natürlich den zeitlichen Ablauf genauer dar. Die Textfig. 13, 14, 15, 16 sind solche Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurven, bei welchen die Abszissenstationen $^1/_{100}$ Sek., die Ordinaten die zugehörigen Wege bzw. Wegvermehrungen darstellen.

1) Auch hierüber wird vielleicht größere Sicherheit durch einen Vergleich der Dickenaufschreibung der bewegenden Muskeln mit der Kurve der resultierenden Bewegungen zu erzielen sein.

Textfig. 13 gibt die Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve einer Bewegung mit kräftigem Rückstoß. Die Ordinate, über welcher sich das Kreuz befindet, ist die, welche der höchsten Einzelgeschwindigkeit (bzw. der zugehörigen Beschleunigung) entspricht. Das Ausrufungszeichen kennzeichnet den Zeitteil, in welchem die Rückbewegung zuerst merklich wird. Nun lehrt ein Blick auf die Zeichnung

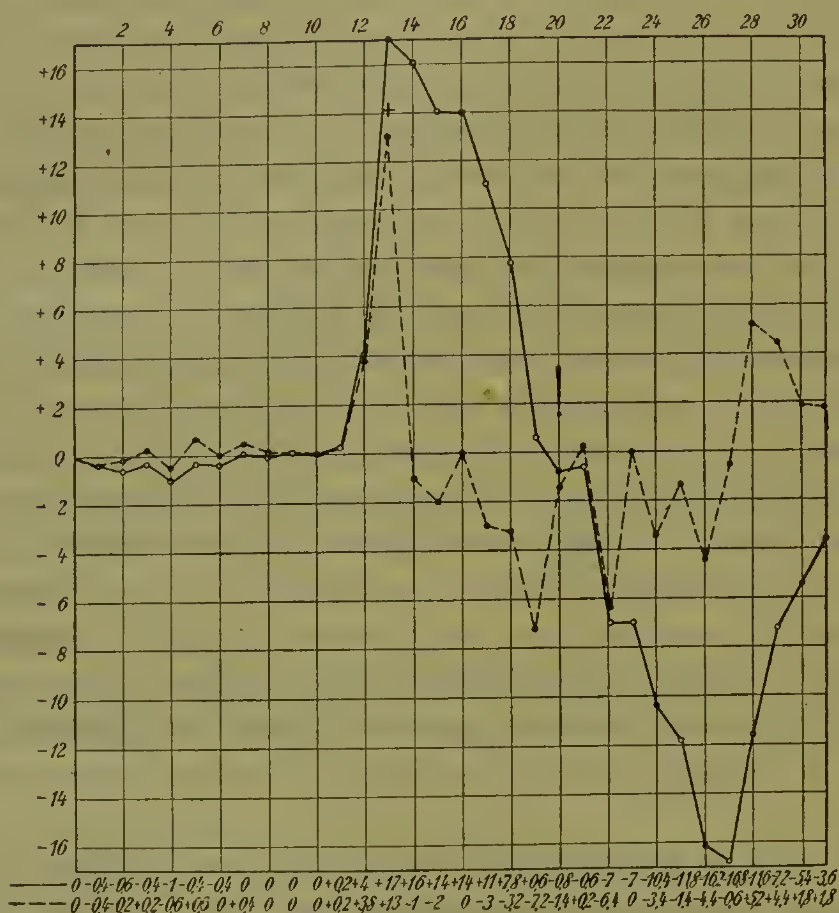


Fig. 13.

Bewegung mit kräftigem ungehemmten Rückstoß. —— Geschwindigkeitskurve; --- Beschleunigungskurve; + Zeitteil der höchsten Einzelgeschwindigkeit; ! Zeitteil des Rückstoßbeginns. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

ohne weiteres, daß die hauptsächliche Verlangsamung (Minusbeschleunigung) in die Zeit des Rückstoßes fällt, nämlich in die $^1/_{100}$ Sek. vor Beginn der Rückbewegung. Sie beträgt hier allein —7,2, während in den übrigen $^5/_{100}$ Sek., welche von dem Zeitpunkt der höchsten Einzelgeschwindigkeit ab verflossen sind, nur insgesamt 9 als Verlangsamungsbetrag zusammenkommen, davon auch noch —3 in der

vor der Rückstoßbewegung vorletzten $^1/_{100}$ Sek. Wir dürfen also in diesem Falle sagen: Die Bremsung fällt mit dem Rückstoß zusammen, der Rückstoß bremst; vorher sind verlangsamende Kräfte (Antagonisteninnervation) nicht wesentlich merklich. Anders bei der nächsten Figur (Textfig. 14), welche eine gehemmte Bewegung in derselben Weise wie die vorhergehende darstellt. Hier schließt sich die hauptsächlichste Verlangsamung unmittelbar an die höchste Einzelgeschwindigkeit an; bis zum Zeitteil

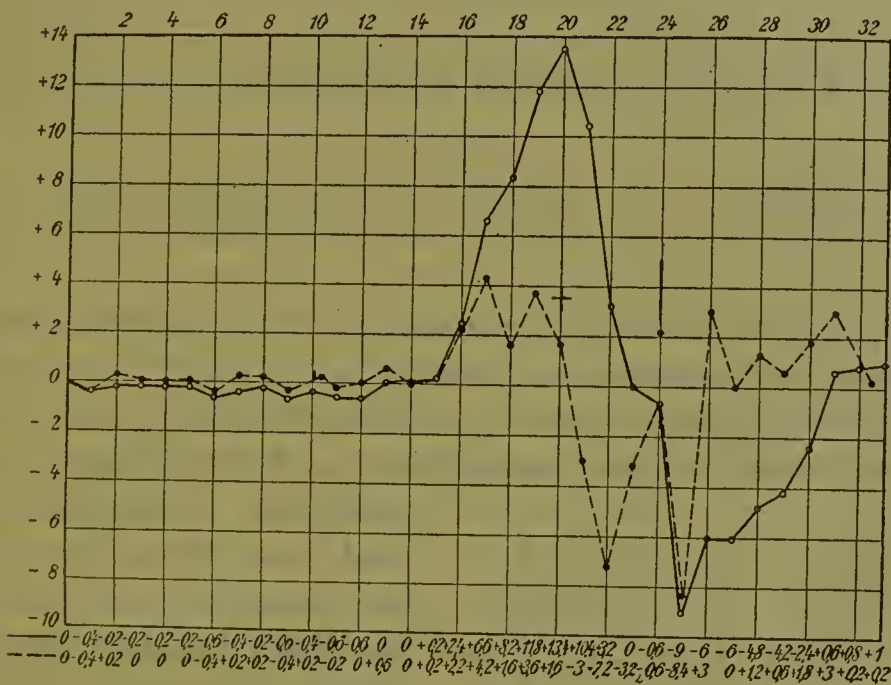


Fig. 14.

Gehemmter Rückstoß, in $^1/_{100}$ Sek. dargestellt. —— Geschwindigkeitskurve; --- Beschleunigungskurve; + Zeitpunkt der höchsten Einzelgeschwindigkeit; ! Zeitteil des Beginns der Rückstoßbewegung. Vp. J.

vor Beginn der Rückstoßbewegung sind bereits 10 von der Höchstgeschwindigkeit, die 13 beträgt, durch Verlangsamung aufgehoben. In diesem Fall werden wir also die Bremsung einer Antagonistenwirkung vor dem Rückstoß zu wesentlichstem Teil zuschreiben. Ganz gelingt die Hemmung nicht; der entstehende, im Verhältnis zu dem der vorigen Figur geringe Rückstoß bremst seinerseits den Rest der Geschwindigkeit ab.

Analoge, wenn auch nicht ganz gleiche Gesetzmäßigkeiten zeigen die Textfig. 15 und 16. Fig. 15 ist eine Kurve mit mäßig energischem

Rückstoß, wie er der Vp. Mo., von welcher die Kurve stammt, überhaupt eigentümlich ist; Fig. 16 ist eine Kurve mit gehemmtem Rückstoß von derselben Vp. Die Kurven sind nur Beschleunigungskurven; das Kreuz bezeichnet wieder den Ort der höchsten Einzelgeschwindigkeit, das Ausrufungszeichen den Anfang der Rückbewe-

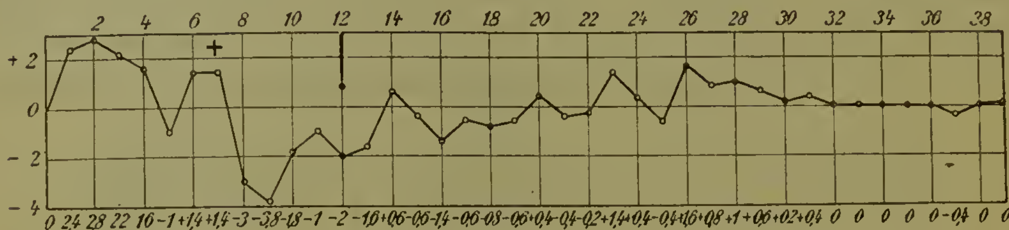


Fig. 15.

Beschleunigungskurve. Bei ! Beginn der mäßig energischen Rückbewegung. Bei + Stelle der höchsten Einzelgeschwindigkeit. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

gung. Auch in diesem Fall schließt bei der gehemmten (Fig. 16) Bewegung die Verlangsamung unmittelbar an den Ort der höchsten Einzelgeschwindigkeit in relativ energischer Weise an, und es finden sich eine verhältnismäßig lange Zeit ($^8/_{100}$ Sek.) hindurch negative Ordinaten (Verlangsamungen). Auf diese Weise wird wieder vor dem Eintritt des Rückstoßes die Geschwindigkeit fast gänzlich aufgehoben; dem im 14. Zeitmoment merklich werdenden, sehr geringen Rückstoß bleibt kaum etwas zur Bremsung übrig; diese ist bereits früher (der Annahme nach durch Antagonisteninnervation) erfolgt. Anders bei der nicht gehemmten Bewegung (Fig. 15). Auch hier tritt unmittelbar nach der höchsten Geschwindigkeit eine Verlangsamung ein, aber sie ist nicht besonders stark, und es bleibt ihr keine Zeit, sich zu entwickeln, wie in Fig. 16. Hatten wir dort $^8/_{100}$ Sek., in welchen gebremst wird, bis zum Zeitteil vor dem Rückstoß, so hier nur 4, in denen auch die Geschwindigkeit

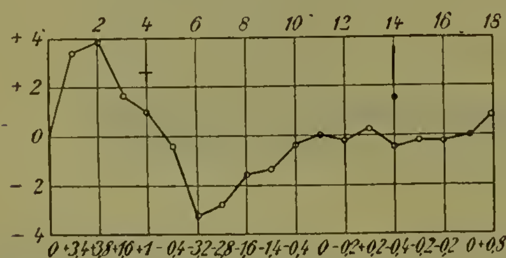


Fig. 16.

Beschleunigungskurve von einer Bewegung mit fast völlig abgebremstem Rückstoß. Dieselbe Vp. wie in Fig. 15. Bei + Stelle der höchsten Einzelgeschwindigkeit. Bei ! Beginn der Rückbewegung. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

nicht aufgehoben wird. Die Vernichtung eines Restes von 1,4 dürfen wir wohl dem Rückstoß zuschreiben.

Diese Beispiele mögen genügen, um die Ansichten, welche über die Natur des Rückstoßes, seine Verwertung, seine Unterdrückung geäußert wurden, zu stützen. Ich bin mir der Unsicherheit, welche diese Ausführungen zum Teil kennzeichnet, durchaus bewußt, insbesondere der Subtilität der letzten Erörterungen über den gehemmten Rückstoß. Diese Mängel der Beweisführung sind bedingt durch die Unmöglichkeit, vorerst die einzelnen Kräfte, die in der Bewegung wirksam werden, herauszulösen und genauer zu analysieren. Einige weitere Sicherungen werden wir wohl noch erhalten, wenn wir mit den wie bisher gewonnenen und analysierten Kurven der resultierenden Bewegung noch die Kontraktionskurven der beteiligten einzelnen Muskeln zusammenhalten.

Es seien nun noch vor Abschluß des Kapitels über den Rückstoß einige Besonderheiten nachgetragen; zunächst zu der Frage der Bremsung. Wir haben von vornherein mit Rieger die Bremsung durch einen Widerstand (Prellbock) und die elastische Bremsung unterschieden. Für die erstere hat Rieger charakteristische Beispiele angeführt. Ein sehr gewöhnlicher Fall — neben der Bremsung durch Reibung — ist der, daß die Bewegung durch Anschlag im Gelenk ihren Abschluß findet. So wird etwa der Unterarm bei der Streckung durch natürliche Hemmvorrichtungen schließlich zum Stehen gebracht, ebenso können Finger- und die verschiedensten anderen Bewegungen ihrerseits auf ähnliche Weise mitten aus einer großen Geschwindigkeit heraus durch im Gelenk gegebene mechanische Bremsvorrichtungen angehalten werden. Das sind also Bewegungen, die man bis zur Grenze der Exkursionsfähigkeit, dem Anschlag im Gelenk, durchführt. Sie zeigen keinen Rückstoß, oder brauchen wenigstens keinen zu zeigen, indem es bei ihnen ein leichtes ist, das bewegte Glied an den im Gelenk gegebenen Bremsvorrichtungen wie an jedem anderen Prellbock festzuhalten. Die nächsten Tafelfiguren (19, 20) demonstrieren einige derartige Bewegungen. Man sieht, wie die Bewegung mit stufenförmigen Biegungen aufhört, ohne daß sich ein Rückstoß anschließt. Diese Stufen und Biegungen dürfen wir wohl auf die Widerstände des Gelenkes zurückführen. Wir sehen aber auch, daß schon vor diesen letzten

Bremsungen die Geschwindigkeit abgesunken ist. Die Gelenkbremsung erfolgt nicht aus der höchsten Geschwindigkeit heraus. Die Textfig. 17a und b geben die Geschwindigkeitskurven dieser Bewegungen. Bemerkenswert ist, daß die Kurve der Fig. 17a in ihrer Höchstgeschwindigkeit weit unter dem Betrage bleibt, den diese Vp. (J.)

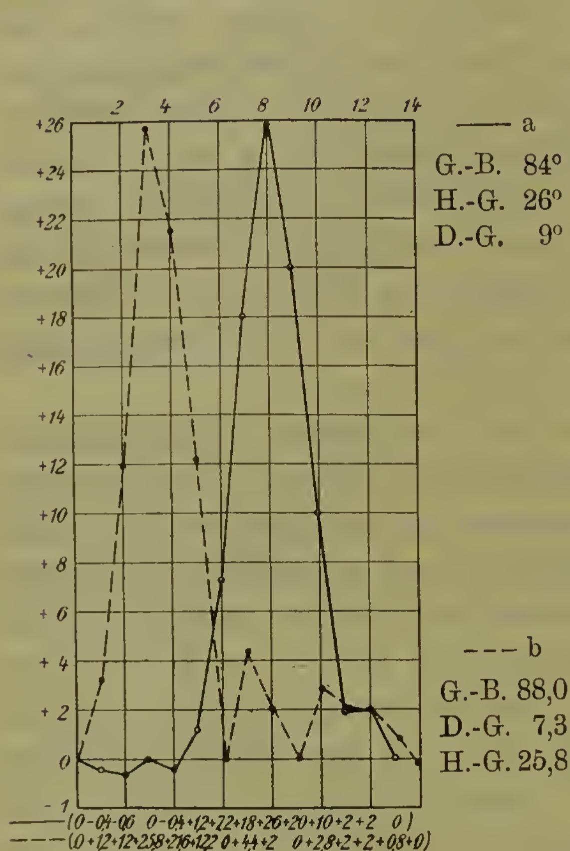


Fig. 17a und b.

Geschwindigkeitskurven einer schnellen Bewegung bis zum Anschlag. Vp. J. und Mo.

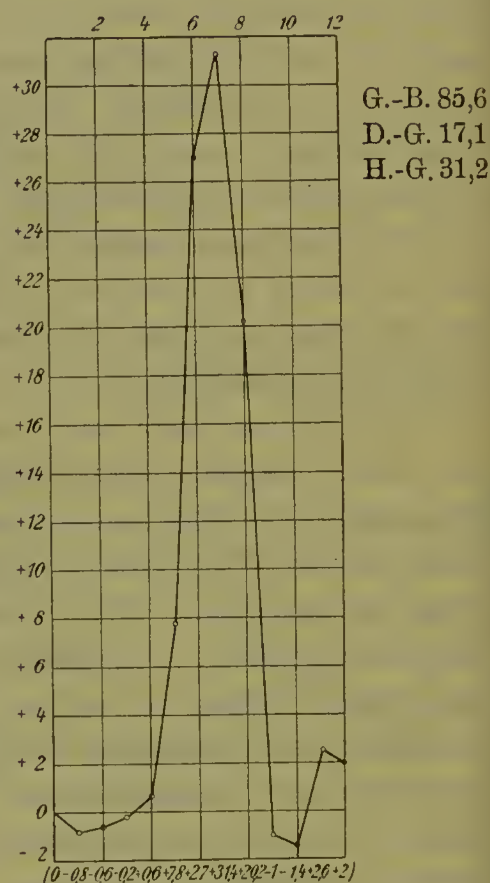


Fig. 18.

Geschwindigkeitskurve von Tafelfig. 21. Zeit in 1/50 Sek.

sonst zu erreichen pflegte (vgl. z. B. Textfig. 6a, S. 52 und die Durchschnittskurve Textfig. 24). Bei der Vp. Mo., von welcher die Fig. 17b stammt, ist das anders; bei ihr zeigten die Bewegungen bis zum Anschlag beträchtlichere Geschwindigkeiten als in dem Gros der übrigen Kurven (vgl. Durchschnittskurve Textfig. 31). Diese Vp. hatte aber sonst sehr geringe Durchschnittsgeschwindigkeiten und Gesamtbewegungsgrößen, und wir werden später sehen, daß bei Steigerung des Bewegungsumfanges im allgemeinen auch die Neigung besteht, die Geschwindigkeit zu steigern. Daß es auch gelingt, mit tatsächlich sehr

hoher Geschwindigkeit die Bewegung bis zum Anschlag im Gelenk durchzuführen, zeigten die nächsten Figuren, von denen Tafelfig. 21 eine Bewegungskurve von derselben Vp. (J.) wie Tafelfig. 19 darstellt, und Textfig. 18 die Geschwindigkeitskurve zu dieser Bewegung gibt. Der Anschlag beginnt vom 8. Zeitteil ab. Schon die Bewegungskurve erscheint sehr steil, und in der Geschwindigkeitskurve sieht man, daß die Bewegung zwar nach der Höchstgeschwindigkeit etwas verlangsamt wird, die Bremsung durch den Prellbock aber eine immerhin noch sehr große Geschwindigkeit trifft und diese ohne Rückstoß aufhebt.

Wir haben in unseren bisherigen Ausführungen nur einfache Beugebewegungen des Zeigefingers betrachtet, und im allgemeinen wurde im Verlauf der ganzen Untersuchung der Grundsatz festgehalten, sich auf diese ganz einfache Bewegung und die mit ihr verknüpften Erscheinungen zu beschränken. Immerhin wurden aber auch jetzt schon hin und wieder zur Kontrolle und zum Vergleich auch andere Bewegungen im Experiment untersucht. Die nächsten Kurven und Figuren sollen einige Streckbewegungen demonstrieren. Tafelfig. 22 zeigt eine schnelle Streckbewegung von der Vp. J., von welcher die großen und sehr schnellen Bewegungen der Tafelfig. 1, 13, 14 stammen. Textfig. 19a gibt die Geschwindigkeitskurve dazu. Beide Figuren zeigen, daß auch an die Streckbewegung sich Rückstoß anschließen kann (es ist hier sogar ein doppelter vorhanden); in dieser Bewegung ist er von der Hinbewegung durch eine Pause von etwa $^3/_{100}$ getrennt. Die Bewegungen selbst sind viel langsamer und weniger ausgiebig, als es für die Beugebewegung dieser Vp. charakteristisch ist. Vielleicht, daß das überhaupt für die Fingerstreckbewegungen gegenüber den Beugebewegungen kennzeichnend ist. Daß solche Geschwindigkeitsunterschiede für die einzelnen Richtungen bestehen, ist ja schon früher (S. 18) erörtert worden. Bei Tafelfig. 23 und Textfig. 19b, welche Fingerstreckbewegungen der Vp. Mo. darstellen, derselben von der Tafelfig. 2, 8, Textfig. 17b und die Durchschnittskurve Textfig. 31 stammen, tritt diese Tatsache nicht zutage, aber hier dürfen wir wohl denselben Grund annehmen, wie wir ihn früher in Anspruch nahmen, daß nämlich diese Vp. überhaupt eine mäßige Geschwindigkeit einhält und infolgedessen nicht so leicht Änderungen im Sinne der Verminderung zeigt.

Es bleibt noch übrig, darauf hinzuweisen, in wie mannigfacher Form der Rückstoß in unseren Bewegungen zur Verwendung gelangt. Was wir hier betrachteten, waren nur ausgeprägte Fälle,

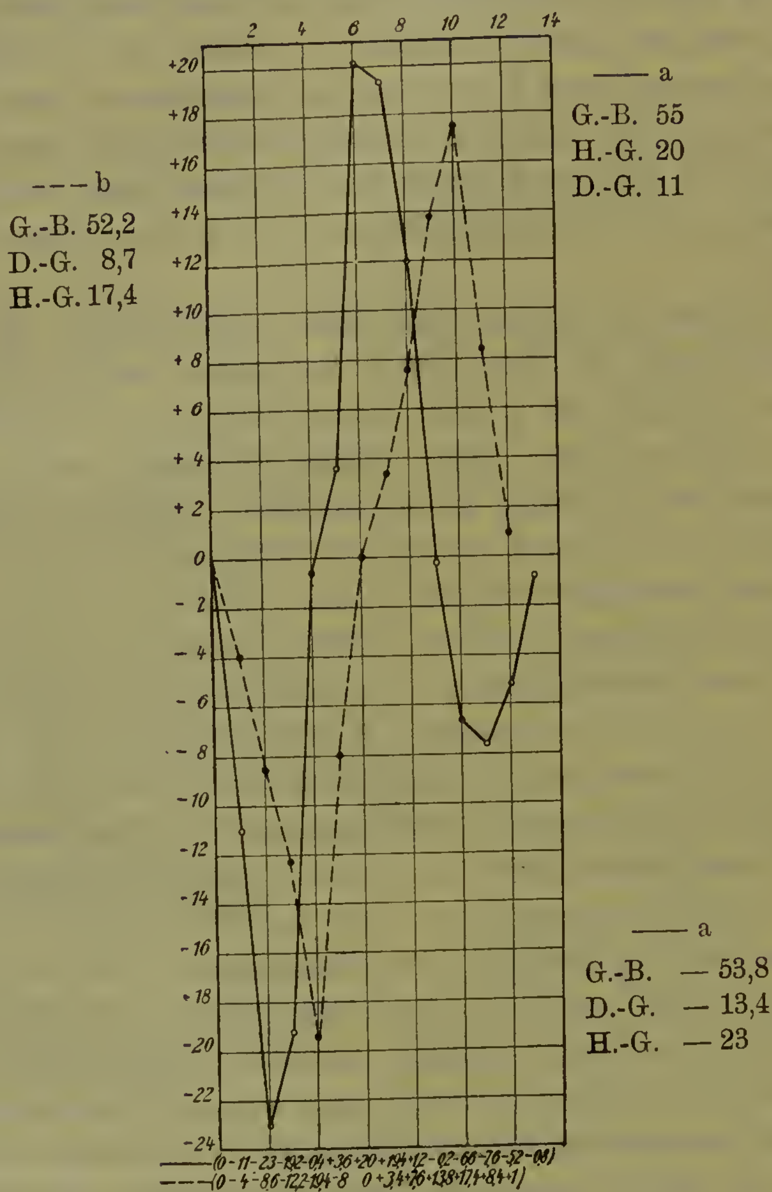


Fig. 19 a und b.

—— a Geschwindigkeitskurve zu Tafelfig. 22. --- b Geschwindigkeitskurve zu Tafelfig. 23. Zeit in $^1/_{50}$ Sek.

Bewegungen, von denen wir sicher angeben können, daß in ihnen »Rückstoß« zur Entwicklung kam, eventuell, daß er gehemmt oder für andere Bewegungen weiter verwendet wurde. Ferner ist es ein leichtes, Bewegungen aufzuzeichnen, bei welchen Rückstoß sicher

nicht in Erscheinung tritt, z. B. Hin- und Rückbewegungen, zwischen denen große Intervalle liegen. Wir werden ihnen noch später Aufmerksamkeit widmen müssen. Dazwischen sehen wir dann Übergänge, Bewegungsverbindungen, bei welchen wir uns oft nicht mehr sicher sind, ob Rückstoß bei ihnen wirksam war oder nicht (vgl. Tafelfig. 24 und 25). Wenn wir eine Reihe von Hin- und Rückbewegungen machen, gewissermaßen in einer Skala der Geschwindigkeit, so finden wir in der Mitte einen Bereich, von dem wir nicht entscheiden können, ob und wie weit der Rückstoß in ihnen verwertet ist. Und auch da, wo wir sicher sind, Rückstoß zu haben, können wir oft nicht entscheiden, was Rückstoß ist und was seine Verwertung, seine »Überinnervation«. Selbst dann, wenn wir danach streben, das Phänomen ganz passiv zur Geltung kommen zu lassen, sind wir ja doch wohl nie völlig passiv; wir werden später bei Betrachtung der individuellen Differenzen sehen, daß alle Versuchspersonen zu ihrem Rückstoß gewissermaßen »Stellung nehmen«. Sie suchen ihn zu vermeiden, sie bremsen ihn ab, sie lassen ihn mehr passiv ablaufen oder sie verstärken ihn; so können wir im groben die Typen voneinander sondern. Aber es ist uns keineswegs möglich, dieses Spiel des Rückstoßes im Getriebe mannigfachster Innervationen genauer heraus zu analysieren.

Nur ganz allgemein haben wir vorerst zeigen können, daß der Rückstoß in unseren Bewegungen wirksam ist und wie er wirksam ist[1]). Über seine Natur haben wir uns mit allzu viel indirekten Schlüssen und Betrachtungen Klarheit zu verschaffen gesucht, und über das feinere Zusammenwirken dieses unabhängig von unserem Willen auftretenden Phänomens mit unseren willkürlichen Innervationen sind wir noch ganz im unklaren.

Das eine allein sehen wir sicher, daß diese Erscheinung von hoher Bedeutung für unsere Willkürbewegungen ist, daß alle unsere Bewegungen sozusagen auf sie eingerichtet sind, indem sie entweder den Rückstoß benutzen oder vermeiden.

1) Bei den Augenbewegungen scheint der Rückstoß keine besondere Rolle zu spielen (Koch, Arch. f. d. ges. Psychol. XIII, S. 248). Es scheinen eigene mechanische Dämpfungsvorrichtungen vorhanden zu sein, die ihn verhüten. Daß der Rückstoß jedoch andeutungsweise auch bei den Augenbewegungen vorhanden ist, zeigen Beobachtungen, welche Dodge neuerdings in einer schönen Arbeit mitgeteilt hat (Zeitschr. f. Psychol., Bd. 52 S. 374).

Wir fassen nunmehr die Ergebnisse dieses Kapitels über den Rückstoß zusammen:

Als Rückstoß bezeichnen wir mit Rieger die unabhängig von unserem Willen auftretende Rückbewegung, welche ein Glied nach einer schnellen Bewegung zeigt, wenn nicht bestimmte Bremseinrichtungen benutzt werden.

Dieser Rückstoß ist nicht einfach ein Zurückschnellen, welches auf die Elastizität gedehnter Muskeln zurückgeführt werden kann, sondern es wird bewirkt durch eine besondere Innervation und Kontraktion der Antagonisten.

Für eine solche Natur des Rückstoßes sprechen verschiedene Tatsachen, welche den Gesetzen der bloßen Elastizität zuwiderlaufen, insbesondere die Stärke des Rückstoßes bei kurzen Bewegungen, die völlige Unmöglichkeit, ihn bei solchen abzubremsen, und das Auftreten einer Latenzzeit zwischen Hin- und Rückweg bei kurzen Bewegungen. Palpation des Muskels bei den Rückstoßphänomenen und graphische Registrierung von Dickenkurven machen es ferner sehr wahrscheinlich, daß wir es nicht einfach mit einem dauernd gleichmäßig kontrahierten und gedehnten Strang zu tun haben, sondern daß Muskelerschlaffungen mit aktiven Zusammenziehungen bei diesen Erscheinungen abwechseln. All diese Tatsachen legen es uns nahe, für das Verständnis der Natur des Rückstoßes die Anschauungen und Erfahrungen zu verwerten, welche Sherrington über die von ihm als sekundäre Induktion bezeichneten Phänomene mitgeteilt hat.

Das Rückstoßphänomen ist für unsere Bewegungen von großer Bedeutung. Die Intention bei den Willkürbewegungen berücksichtigt den Rückstoß dauernd, indem sie ihn verwertet, vermeidet, abbremst oder unbeeinflußt ablaufen läßt. All diese Fälle haben ihre charakteristischen Kurven, welche einen gewissen Einblick in das mannigfache Spiel der Innervationen gewähren.

Insbesondere sind in dieser Hinsicht die Kurven gehemmter Bewegungen interessant, welche Andeutungen geben für das Verständnis der verschiedenen Arten der

agonistischen und antagonistischen Innervationen je nach der Intention der Bewegung. Nach der Struktur der Kurven erscheint die Annahme berechtigt, daß die Rückstoßhemmung durch Antagonistenkontraktion vor dem Rückstoß bewirkt wird, während beim ungehemmten Rückstoß die Rückstoßkontraktion selbst die Hinbewegung abbremst und die Rückbewegung einleitet.

Als Beispiele der Bremsung durch äußere Widerstände verdienen die Bewegungen bis zum Anschlag im Gelenk Berücksichtigung. Sie haben besondere Eigenheiten des zeitlichen Ablaufs.

Das Rückstoßphänomen ist unabhängig von der Bewegungsrichtung, wenn auch Unterschiede im zeitlichen Ablauf der Bewegung durch dieselbe bedingt zu sein scheinen.

2. Der Beginn und weitere Verlauf der Bewegung.

In dem vorhergehenden Kapitel ist das Ende der Bewegungskurve betrachtet worden, insbesondere die Eigenart, welche der Abschluß durch seine Beziehungen zum Rückstoß gewinnt. Es ist dabei schon bei mehreren Gelegenheiten betont worden, daß dieser Rückstoß nichts Isoliertes ist, daß er sich nicht gewissermaßen als ein Fremdkörper der Bewegung aufsetzt, daß vielmehr die Bewegung in ihrer Form etwas durchaus Einheitliches ist, durch Einstellung und Intention bedingt, und daß auch die Beziehungen zum Rückstoß vom Beginn der Bewegung an in ihr vorhanden sind. So betrachten wir in dem folgenden mit dem gleichen Vorbehalt, daß im Grunde die Bewegung ein Unteilbares ist, doch einige Stationen in derselben. Wir dürfen es, weil eben doch je nach der Art der Bewegung ihr Beginn, ihr Verlauf, ihr Abschluß anders aussehen, wenn auch diese Teilungen willkürlich sind und die Teile untereinander und zu dem Ganzen der Bewegung in unlösbaren Beziehungen stehen.

Die Geschwindigkeit beim Beginn der Bewegung und ihre Entwicklung steht in Beziehung zu der Geschwindigkeit, welche in der Bewegung überhaupt erreicht wird. Bewegungen, welche zu hohen Geschwindigkeiten aufsteigen, zeigen eine schnelle Entwicklung zu

der Höchstgeschwindigkeit und infolgedessen auch in den ersten Zeitteilen der Bewegung bereits hohe Geschwindigkeiten. Bewegungen, die keine hohe Einzelgeschwindigkeit erreichen, steigen auch langsam zu ihrer höchsten Geschwindigkeit an. Diese Regel ist keineswegs selbstverständlich. Da wir eine mathematische Gesetzmäßigkeit, wie sie die Lehre Camerers von der gleichmäßigen Beschleunigung unserer Willkürbewegungen behauptet, nicht feststellen konnten, andererseits die von Loeb und Koranyi angenommene Regel, welcher ein Teil von Bewegungen ungefähr entspricht, auch andere Geschwindigkeitsentwicklungen zulassen würde, so könnten ja, wenn höhere Geschwindigkeiten vermieden werden sollen, die Zeitpunkte, von welchen an die Konstanz der Bewegung beginnt, früher einsetzen. Es könnten zwei Bewegungen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt ungefähr den gleichen Ablauf haben, die eine dann noch weiter zu höheren Geschwindigkeiten ansteigen, während die andere einige Zeit eine ungefähr konstante Geschwindigkeit innehält, um dann abzusinken. Und es gibt auch Kurven, welche sich in ihren Anfangsteilen ähneln, um im späteren Verlauf zu differieren. Das sind dann gewöhnlich Bewegungen, bei welchen die Intention speziell auf derartige Geschwindigkeitsverhätnisse geht. Überhaupt muß bei all solchen Behauptungen über allgemeine Gesetze, die den Geschwindigkeitsverlauf beherrschen sollen, im Auge behalten werden, daß der Geschwindigkeitsablauf dauernd abhängt von der Absicht, unter welcher die Bewegung ausgeführt wird. Es ist eine besondere Frage, welche wir für diese Untersuchungen von vornherein beiseite gestellt haben, inwiefern die Absicht, soweit sie sich auf den Geschwindigkeitsverlauf bezieht, infolge bestimmter Gesetzmäßigkeiten, welche dem Mechanismus der Schnelligkeitsentwicklung der Bewegung immanent sind, immer nur in bestimmter modifizierter Weise realisiert werden kann. Wir stellen hier also nur im allgemeinen fest, daß die Tendenz besteht (ein Blick auf die später S. 116 beigegebenen Durchschnittskurven lehrt das), bei Bewegungen, welche eine hohe Höchstgeschwindigkeit erreichen, auch mit hoher Anfangsgeschwindigkeit zu beginnen. Damit soll gesagt sein, daß diese Tendenz zu konstatieren ist bei Bewegungen, bei denen in der Einstellung keine speziellen, auf den Geschwindigkeitsablauf als solchen bezüglichen Absichten und Intentionen enthalten waren, also etwa die,

langsam zu beginnen und dann sehr schnell zu werden, oder die, ganz schnell zu werden und plötzlich abzubremsen. Von diesen letzteren Bewegungen z. B. können wir aus unseren Registrierungen feststellen, daß sie mit relativ höheren Geschwindigkeiten beginnen als Bewegungen, welche die gleiche Höchstgeschwindigkeit erreichen, aber unbeeinflußt ablaufen (vgl. z. B. die Kurven Textfig. 7 und 9, abgesehen von dem negativen Vorschlag).

Bei Kurven aber, bei denen nur ganz allgemein die Absicht bestand, eine schnelle Bewegung zu machen, herrscht das angegebene Gesetz. Es herrscht freilich auch nur annähernd und mit Ausnahmen; es besteht *keine direkte Proportionalität*. Diese gilt nicht hinsichtlich der Geschwindigkeitsentwicklungen bei *verschiedenen Personen*, insofern, als diejenigen, welche große Höchstgeschwindigkeiten zeigen, nicht auch gleich zu Beginn die entsprechend großen Geschwindigkeiten zu entwickeln brauchen, vielmehr werden wir in dem Kapitel über die individuellen Differenzen zu zeigen haben, daß, in der Art und Weise, wie die Bewegung beginnt, sehr beträchtliche persönliche Unterschiede bestehen. Es herrscht aber selbst bei den einzelnen Kurven *einer* Versuchsperson nicht einfach genaue Proportionalität. Das darf bei der Komplikation der ineinander spielenden Prozesse nicht verwundern. Im großen und ganzen jedoch gilt die angegebene Gesetzmäßigkeit, *daß mit wachsender Höchstgeschwindigkeit auch die Geschwindigkeiten im Beginn der Bewegung wachsen.*

Es ist nun aber bei dieser Betrachtung der Geschwindigkeitserhöhung der Bewegung ein weiterer Punkt zu berücksichtigen. Dieser Gesichtspunkt richtet sich auf das *Verhältnis von Schnelligkeit und Weg*. Würde bei den schnellen Bewegungen nur von vornherein die Geschwindigkeit erhöht, bliebe die Weggröße konstant, so müßte die Bewegung schneller zu Ende gehen; und tatsächlich möchte man wohl a priori etwas derartiges von der geschwinden Bewegung vermuten. In Wahrheit verhält es sich nicht so. Überall beginnt, wenn man die Aufgabe nicht direkt auf Bremsung stellt, mit wachsender Geschwindigkeit der zurückgelegte Weg zu wachsen, so daß die Gesamtdauer der Bewegungen nicht in direktem Verhältnis zu ihrer Schnelligkeit abnimmt.

Daß gesetzmäßige Beziehungen bestehen zwischen der Geschwindig-

keit einer Bewegung und ihrem Umfang, ist in der experimentellen Psychologie schon seit einiger Zeit bekannt. Bei der Untersuchung der Schrift ist festgestellt worden [von Binet und Courtier[1]), von Groß[2])], daß die Schreibgeschwindigkeit mit der Größe der Buchstaben zu- und abnimmt, daß aber die Tendenz besteht ein Zeichen immer in ungefähr derselben Zeit zu schreiben. Diese Tatsache ist von Groß auf rhythmische Bestrebungen bezogen worden, und zweifellos wird man solche insbesondere bei der Schrift zugestehen müssen. Andererseits wird es nicht ohne Bedeutung für die Auffassung dieser Vorgänge sein, zu berücksichtigen, daß es, wie früher gezeigt, sehr schwierig ist, hohe Geschwindigkeiten abzubremsen, und daß schon aus diesem Grunde bei schnellen Bewegungen eine Verlängerung des Weges eintreten muß.

Analoge, mehr physiologische Gründe sind wohl auch für die Erfassung der von jenen Autoren festgestellten Gesetzmäßigkeit mit zu berücksichtigen, soweit sie sich auf kurze Bewegungen bezieht. Wenn kurze, bzw. kleine Buchstaben relativ langsamer geschrieben werden, so daß eben die Tatsache der verhältnismäßigen Konstanz der Schreibzeiten der Buchstaben zutage tritt, so kann das auch noch andere Gründe haben, als bloß die psychologischen des rhythmischen Gefühls. Auch in unseren Versuchen haben wir feststellen können, daß ganz kurze Bewegungen eine unverhältnismäßig lange Zeit beanspruchen, und wir haben diese Tatsache auf den Mechanismus der Innervationen und ihrer Latenzzeiten zurückgeführt. Inwieweit der Rückstoß und seine Bremsung für die Schrift eine Rolle spielt, hat bereits Rieger[3]) in sehr fesselnden Ausführungen dargetan.

Andererseits dürfen diese Gründe nicht zu einseitig für die Auffassung der Bewegungskurve betont werden. Es spielen zweifellos psychische Momente für die Art der Innervation eine Rolle, auch wenn sie nicht als besondere bewußte Absichten hervortreten. Und zu diesen Momenten gehören sicher auch rhythmische.

---

1) Rev. philos. 35, 1893.

2) Kraepelins psycholog. Arbeit., Bd. II. Bei den Augenbewegungen ist gleichfalls ein Anwachsen der Geschwindigkeit mit der Größe der Exkursion festgestellt worden, jedoch keine direkte Proportionalität (vgl. Koch, Arch. f. d. ges. Psychol. XIII).

3) Vgl. Ztschr. f. Psychol. 32, 1903.

Daß solche psychologischen Einflüsse bei den eigenartigen Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit und dem Weg einerseits und zwischen der Geschwindigkeit im Beginn und im Verlauf der Bewegung andererseits bestehen müssen, zeigen auch die Beobachtungen langsamer Bewegungen, bei welchen der Rückstoß vermieden ist (vgl. hierzu später), und der darum auf den Verlauf der Bewegung keinen weiteren Einfluß hat. Die Textfig. 20a u. b stellen langsame Bewegungen einer Versuchsperson dar; die Bewegungen, welche keine Spur von Rückstoß zeigen, sind in ihrer Geschwindigkeit verschieden, der Weg ist bei beiden ungefähr der gleiche (also eine von den später

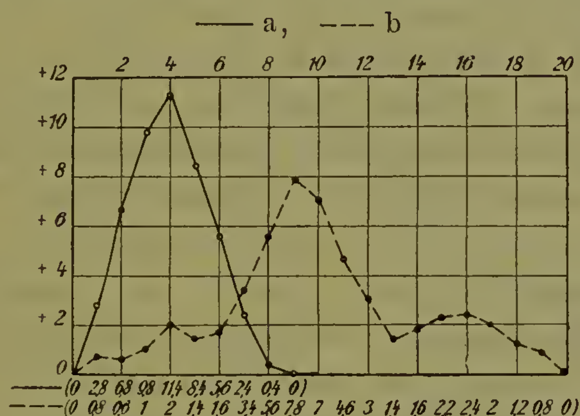


Fig. 20a und b.

zu erörternden Ausnahmen der eben behandelten Regel). Das Bemerkenswerte an diesen Bewegungen ist, daß diejenige, welche eine größere Höchstgeschwindigkeit erreicht (Fig. 20a), auch von vornherein schneller ansteigt, als die mit geringerer Höchstgeschwindigkeit (Fig. 20b). Es richtet sich also auch bei diesen langsamen Bewegungen der Beginn der Bewegung nach ihrem Gesamtverlauf. Und diese Tatsachen bestätigen eine Anschauung, welche schon Camerer als Vermutung geäußert hat, indem er den Satz aufstellen zu können glaubte: »Die dem Muskel erteilten Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich proportional den wirklich erreichten, bzw. etwa auch den beabsichtigten mittleren Geschwindigkeiten«[1]. Das gilt freilich nur in der schon öfter betonten annähernden Weise. Es gilt vor allem nur, wenn die Bewegung nicht in dieser bestimmten Richtung durch Absicht anders gestaltet wird.

---

1) Camerer, Dissert. S. 42.

Camerer freilich spricht in diesem Satze von der mittleren Geschwindigkeit, nach welcher schon der Beginn der Bewegung eingerichtet sein soll, während hier zunächst immer die erreichte höchste Einzelgeschwindigkeit zum Vergleich aus den übrigen Teilen der Bewegung herangezogen wurde. Das geschah, weil gerade die erreichte höchste Einzelgeschwindigkeit für die Bewegungsform charakteristisch erscheint, besonders für den Rückstoß. Allein es wird sich sogleich zeigen, daß zwischen höchster Einzelgeschwindigkeit und Durchschnittsgeschwindigkeit eine recht konstante Beziehung besteht, indem, wenn die Höchstgeschwindigkeit wächst, auch die Durchschnittsgeschwindigkeit in ziemlich gleichmäßiger Weise ansteigt.

Die nächsten beiden Tabellen (C und D) sollen die eben behaupteten Tatsachen genauer darstellen und beweisen. Sie geben uns Daten, welche aus den später behandelten Durchschnittsberechnungen gewonnen sind. Tabelle C beleuchtet die Beziehungen zwischen Weg und Geschwindigkeit, sie zeigt fast durchweg, daß mit dem Weg die Geschwindigkeit wächst und umgekehrt. Dabei behandelt sie Bewegungen verschiedener Einstellung (sensorische, motorische), bei welchen aber hinsichtlich des Weges gar keine, hinsichtlich der Geschwindigkeit bei den motorischen Reaktionen nur die allgemeine Vorschrift gegeben war, möglichst schnell nach Auffassung des Signales zu bewegen. — Es bestehen in der Tabelle fast gar keine Ausnahmen von der angegebenen Gesetzmäßigkeit; die beiden Fälle, in denen es anders, als die Regel bestimmt, zu sein scheint, täuschen Ausnahmen durch besondere Verhältnisse vor. Es ist festzuhalten, daß bei den Versuchen, aus denen die Durchschnittswerte stammen, eben keine besonderen Vorschriften hinsichtlich des Weges noch der Geschwindigkeit erteilt waren. Sind solche Intentionen da, so treten natürlich Ausnahmen ein. Doch ist auch dann die Gesetzmäßigkeit der Beziehungen nicht aus der Welt geschafft, sondern in ihrer modifizierten Geltung noch weiter zu untersuchen. Wie es scheint, ist bei beabsichtigter Geschwindigkeitszunahme die Vergrößerung des Weges unvermeidlicher als umgekehrt bei gewollter Wegvergrößerung die Geschwindigkeitszunahme.

Die Tabelle zeigt ferner, daß das gesetzmäßige Verhältnis zwischen Weg und Geschwindigkeit niemals glatte Proportionalität ist. Wir sehen beträchtliche individuelle Differenzen in der Art und

Tabelle C.

Beziehungen zwischen Bewegungsumfang und Durchschnittsgeschwindigkeit.
(Nach Durchschnittsrechnungen.)

Versuchs-person	G. B.	D. G.	Nr.	Art.
Mo.	28,6	5,9	1	Sens.
	36,9	8,9	2	Mot.
	56,2	10,8	3	Mot. energisch
	50,8	9,8	4	Mot. überhaupt
Al.	62,4	9,8	5	Sens.
	77,6	14,1	6	Mot.
J.	76	14,9	7	Mot.
	81	12,7	8	Mot. Rückstoß betont
	44	4,7	9	Sens.
	52	6,9	10	Hemmen
Ho.	45	7,9	11	Sens.
	48	9,4	12	Mot.
Hi.	70,6	9,9	13	Unwillkürlich gehemmt
	61,9	12,6	14	Mot.
Pa.	60,9	7,5	15	Sens.
	61,4	10,0	16	Mot.
Rü.	53,6	5,1	17	Sens.
	58,3	12,4	18	Mot.
We.	61,1	6,3	19	Sens.
	71	10,0	20	Mot.
Re.	72	5,3	21	Sens.
	83,8	11,4	22	Mot.

Versuchs-person	G. B.	D. G.	Nr.	Art.
Kr.	54,3	8,9	23	Sens.
	64,6	11,1	24	Mot.
Pl.	31,2	4,7	25	Sens.
	71,9	10,3	26	Mot.
Tr.	46,8	6,3	27	Sens.
	68,6	13,4	28	Mot.
Sp.	31,9	2,2	29	Sens.
	45,9	9,5	30	Mot.
	76,6	8,7	31	Mot. energ.
	61,2	9,1	32	Mot. überhaupt.

Weise, wie die Geschwindigkeiten mit dem Weg anwachsen. Man vergleiche z. B. Nr. 17 und 18 mit Nr. 25 und 26 u. a. m. Aber auch bei den einzelnen Personen besteht, wie die Kurven zeigen, keine direkte Proportionalität.

Tabelle D endlich demonstriert die Beziehungen zwischen Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit. Sie sind klar und recht konstant. Die Durchschnittsgeschwindigkeit wächst ziemlich proportional mit der Höchstgeschwindigkeit; in unseren Durchschnittstabellen beträgt die mittlere Geschwindigkeit sogar gewöhnlich etwa die Hälfte der Höchstgeschwindigkeit.

Wäre die Regel von dem parallelen Anwachsen von Weg und Geschwindigkeit völlig zutreffend, so müßten die Gesamtzeiten der Bewegungen konstant bleiben; in diesem Sinne sind die Lehren von der Konstanz der Schreibzeit des einzelnen Schriftzeichens zu verstehen. Für unsere schnellen Bewegungen[1]) trifft die Gesetzmäßigkeit mit bemerkenswerter Genauigkeit zu. Trotz wechselnden

1) Daß bei schnellen Bewegungen der Umfang der Bewegung von geringem Einfluß auf die Gesamtdauer ist, hat auch schon v. Kries gesehen. Arch. f. (Anta.) u. Physiol. 1886, Suppl.

Tabelle D.

Beziehungen zwischen Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit.

Nummer (wie in Tabelle C)	D. G.	H. G.	
1	5,9	10,5	Mo.
2	8,9	16,3	
3	10,8	20,5	
4	9,8	16,2	
5	9,8	17,3	Al.
6	14,1	25,5	
7	14,9	39,3	J.
8	12,7	22,0	
9	4,7	10,7	
10	6,9	23,7	
11	7,9	12,7	Ho.
12	9,4	14,6	
13	9,9	16,2	Hi.
14	12,6	25,9	
15	7,5	13,3	Pa.
16	10,0	20,7	
17	5,1	13,1	Rü.
18	12,4	26,0	
19	6,3	11,8	We.
20	10,0	23,5	
21	5,3	14,9	Re.
22	11,4	21,7	

Nummer (wie in Tabelle C)	D. G.	H. G.	
23	8,9	19,1	Kr.
24	11,1	26,3	
25	4,7	10,8	Pl.
26	10,3	21,7	
27	6,3	15,1	Tr.
28	13,4	27,3	
29	2,2	5,3	Sp.
30	9,5	16,3	
31	8,7	19,3	
32	9,1	17,8	

Weges bleibt die Gesamtdauer der Bewegung für die einzelnen Personen ziemlich feststehend. Die Regel verliert um so mehr an Gültigkeit, je weniger schnell die Bewegungen werden, um bei den ganz langsamen, dauernd durch den Willen kontrollierten Bewegungen, welche wir später kennen lernen werden, völlig außer Kraft zu treten. Auch diese Tatsache dürfte unserem Verständnis nicht schwer fallen. Die Beziehungen zwischen Weg, Geschwindigkeit und Gesamtdauer werden dann in der Bewegung deutlich werden, wenn diese durch einen einmaligen Entschließungs- oder Einstellungsakt bestimmt ist. Denn von diesem Akt her rühren offenbar all jene Eigenschaften, welche uns die Bewegung als ein einheitliches Ganzes kennzeichnen. Anders bei der langsamen, dauernd kontrollierten Bewegung, bei welcher wir ein beständiges Eingreifen regelnder Prozesse feststellen können.

Die nächste Tabelle E verdeutlicht die erörterten Beziehungen zwischen Weg und Gesamtdauer. Sie enthält die Durchschnittszahlen für die einzelnen Personen mit den mittleren Variationen und zeigt, daß trotz erheblicher mittlerer Variation des

Tabelle E.

Bewegungsumfang und Gesamtdauer der Bewegungen (in $^1/_{50}$ Sek.) mit ihren mittleren Schwankungen.

		G. B.	M. V.	G. D.	M. V.
J.	sensorisch	44,2	8,3	8	2
	motorisch	75,3	5,2	4	1
Mo.	sensorisch	28,6	4,9	5	1
	motorisch	46,5	5,5	4	0,5
Al.	sensorisch	62,4	5,1	7	2
	motorisch	77,6	5,2	5	0,5
Hi.	unwillkürliche Hemmung	70,6	5,0	7	0,5
	motorisch	61,9	7,9	5	1
Ho.	sensorisch	45,0	7,1	6	0,6
	motorisch	48,2	5,3	5	1
Pa.	sensorisch	60,0	7,3	10	3
	motorisch	61,4	4,6	7	2
Pl.	sensorisch	31,2	7,0	5	1
	motorisch	71,9	13,1	6	2
Re.	sensorisch	72,0	10,2	11	3
	motorisch	83,8	5,0	8	2
Rü.	sensorisch	53,6	5,7	8	1
	motorisch	58,3	5,7	4	1
Kr.	sensorisch	54,3	5,4	5	0,6
	motorisch	64,6	4,0	5	0,6
Sp.	sensorisch	31,9	2,6	14	3
	motorisch	61,2	9,8	6	1
Tr.	sensorisch	46,8	7,8	5	1
	motorisch	68,6	11,9	5	1
We.	sensorisch	61,1	4,8	9	0,6
	motorisch	71,0	6,0	6	0,8

Weges die mittlere Schwankung der Gesamtzeit klein bleibt[1]).

Es sind bei den letzteren Erörterungen mehrfach die negativen Vorbewegungen erwähnt worden, welche besonders energische Bewegungen einleiten. Die Tafelfig. 1, 13 u. 14 (untere Reihe) u. a. zeigen solche der Hauptbewegung entgegengesetzte kleine Vorbewegungen, und in unseren Durchschnittskurven begegnen wir derartigen, für manche Versuchspersonen charakteristischen negativen Vorschlägen öfters.

Diese negativen, der späteren Hauptbewegung entgegengerichteten Vorbewegungen sind auch schon von anderen Forschern gesehen worden. Judd, Mc Allister und Steele[2]) haben kürzlich eine stetige antagonistische Vorbewegung bei Reaktionsversuchen beschrieben, W. G. Smith[3]) hat schon früher ähnliche ruckweise erfolgte festgestellt; genauer im Zusammenhang mit der Hauptbewegung registriert sind sie jedoch wohl nicht worden. Zu ihrer Deutung darf man wohl auf den Mechanismus des Ausholens zurückgehen und diese kleinen negativen Vorbewegungen als minimale Ausholbewegungen[4]) betrachten. Über die Bedeutung des »Ausholens« hat besonders H. E. Hering[5]) Vermutungen geäußert, indem er annahm, »daß wir, um einen möglichst großen äußeren Effekt bei einer Bewegung zu erreichen, z. B. beim Steinwerfen, beim Sprung usw., vorher gerade jene Muskeln dehnen, die dann die Bewegung ausführen«. Hering glaubte, daß dabei die

1) Es darf nicht stören, daß, wenn man die Werte der Gesamtbewegungen und Gesamtdauern mit den zugehörigen Schwankungen gegenseitig vergleicht, die Schwankungen der Zeiten zum Teil verhältnismäßig größer sind als die der Exkursionen. Absolut genommen sind die Schwankungen der Zeiten gering, besonders, wenn man berücksichtigt, daß etwa bis zu $1/_{100}$ Sek. die Fehlergrenze beim Messen flach ansteigender Kurven reicht. Im übrigen sind die Schwankungen nicht dadurch bedingt, daß auf kürzere Bewegungen kleinere Zeiten fallen, sondern die Variationen sind unabhängig von dieser Beziehung. Die Tabelle zeigt ferner, daß größere Schwankungen der Dauer bei den sensorischen Kurven zu verzeichnen sind — dies nicht sowohl deswegen, weil die Exkursionswerte etwa größere Variationen haben, sondern deshalb, weil die Bewegungen langsamere sind, bei denen überhaupt die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Weg, Geschwindigkeit und Dauer sich lockern. Diese Tatsachen sind leicht aus der Einsicht in die einzelnen Kurven zu entnehmen.

2) Psychol. Review Monogr. Supplem. VII (1905) 1, S. 141 ff.

3) Mind N. 1903, S. 12, 47.

4) So auch Wirth, Analyse der Bewußtseinsphänomene S. 424.

5) Pflügers Archiv 68 (1897), S. 24.

gedehnten Muskeln auf reflektorischem Wege einen Spannungszuwachs erhielten und daß dieser Spannungszuwachs der später auszuführenden Bewegung förderlich sei. Allein, abgesehen von den mannigfachen später erörterten Problemen, welche diese ganze Frage der Kontraktion auf Dehnung in sich schließt, kommt für unseren Fall wohl als ausschlaggebend in Betracht, daß die negativen Exkursionen vor Beginn der Bewegung so gering an Umfang sind, daß ihnen eine wesentlich dehnende Wirkung nicht wird zugeschrieben werden können. Wir werden also die Heringsche Erklärung zum mindesten für unsere Fälle nicht annehmen können. Für diese erscheint es vielmehr angebracht, in der negativen Vorbewegung ein Hilfsmittel zu sehen, um die Rückstoßdisposition zu setzen und diese für die Hauptbewegung auszunutzen. Wissen wir doch aus unseren früheren Erörterungen, daß gerade die kurzen Bewegungen eine verhältnismäßig sehr lebhafte Rückstoßdisposition bewirken.

Zu erwähnen ist hier auch eine Anschauung von Förster über die Bedeutung der Antagonisteninnervation, welche speziell für die oben erörterte Erscheinung von Bedeutung sein könnte. »Wenn«, so sagt dieser Forscher[1]), »dem Gliede von Anfang an eine sehr große Beschleunigung erteilt werden soll, so kann die dazu erforderliche Spannung nicht allein von den Beugemuskeln bestritten werden. Die Bewegung der Glieder würde ja bereits von dem Augenblick beginnen, wo die vom Muskel entwickelte Spannung ein Drehungsmoment hervorbringt, welches das Trägheitsmoment des Gliedes eben überwindet. Diese Bewegung würde aber noch nicht die verlangte Geschwindigkeit haben. Es muß vielmehr das Glied durch eine Gegenkraft so lange festgehalten werden, bis die notwendige Spannung in den Beugern erreicht ist. Diese Eigenschaft kann nur von den Antagonisten der Beuger, von den Streckern ausgehen; ist bei gleichzeitiger Gegenspannung dieser letzteren die Spannung der Beuger bis zu der erforderlichen Höhe angewachsen, so wird diese nunmehr bei plötzlichem Nachlaß der gesamten von den Streckern entwickelten Spannung dem Gliede die verlangte Beschleunigung erteilen.«

Gegen diese Auffassung, welche von Förster für das Verständnis pathologischer Erscheinungen (Tabes—Ataxie) verwertet worden ist,

1) Förster, Physiologie und Pathologie der Koordination. Jena 1902, S. 9 u. 10.

hat man vom Standpunkt der neueren Erkenntnisse hinsichtlich der antagonistischen Innervation Einwände erhoben[1]). Sie ist hier ausgiebig zitiert, weil es vielleicht bei oberflächlicher Betrachtung scheinen könnte, als ob sie durch die negative Vorbewegung eine Stütze erhielte. Tatsächlich ist das durchaus nicht der Fall. Die kleine Vorbewegung kann keine Spannung entwickeln, welche im Sinne Försters zur anfänglichen Verhinderung des Beginns der Bewegung verwertet werden könnte. Sie kann nicht als Zeichen einer besonderen Anspannung der Antagonisten vor der Agonistenbewegung aufgefaßt werden, sondern sie ist ihrer Verlaufsform nach nichts anderes als ein kleiner und kurzer, weder besonders abrupt beginnender noch endender Vorschlag vor der Hauptbewegung. Auch nach der Auffassung, welche unsere Versuche nahe legen, hat dieser antagonistisch bedingte Vorschlag den Zweck, die Geschwindigkeit der durch ihn eingeleiteten Hauptbewegung zu erhöhen, aber der Mechanismus ist nach dieser Auffassung ein wesentlich andersartiger als ihn Förster annimmt.

Über den weiteren Verlauf der Bewegung ist nach den Ausführungen der vorhergehenden Abschnitte nicht mehr viel vorzutragen. Der mittlere Teil der Bewegung wird in einer Reihe von Fällen, besonders bei langsameren Bewegungen, ungefähr durch die Formel von Loeb und Koranyi gekennzeichnet (oben S. 17). Bei Bewegungen mit großer Höchstgeschwindigkeit trifft, wie schon dargelegt, das Gesetz nicht zu.

Der Abschluß der Bewegung wird sehr wesentlich durch seine Beziehungen zum Rückstoß bestimmt. Außerdem kann man im großen und ganzen der Behauptung Camerers zustimmen, wonach auch »die Geschwindigkeit, mit welcher der arretierende Willenseinfluß der Bewegung Einhalt tut«, der erreichten mittleren Geschwindigkeit proportional ist. Denn tatsächlich lehren unsere Kurven ohne weiteres (vgl. die später folgenden Durchschnittskurven ab S. 116), daß die Geschwindigkeiten, welche schnell erreicht werden und hoch ansteigen, auch wieder schnell abfallen, und daß umgekehrt langsam ansteigende Bewegungen auch wieder

---

1) Vgl. z. B. die Zusammenfassung von Beevor, Ergebnisse der Physiologie VIII (1909), S. 336.

langsam abfallen. Auch beim Abfall der Geschwindigkeit der Bewegung spielen offenbar außer den physiologischen psychologische Gesetzmäßigkeiten eine Rolle, welche die Bewegung zu einem einheitlichen Ganzen gestalten, in dem brüske Übergänge vermieden werden.

Einige Bemerkungen seien angefügt über die durch den Rückstoß bedingte Rückbewegung, ihren Umfang und ihren Verlauf. Wie weit eine solche Bewegung reiner Rückstoß ist, wie weit »Benützung« und Fortführung eines solchen, das ist im Einzelfall aus der Kurvenform allein nicht zu entscheiden möglich. Ganz unbeeinflußt werden diese Bewegungen auch bei voller Passivität kaum je bleiben. Betrachten wir die Bewegungskurven des Rückstoßes, wie sie tatsächlich ausfallen, wenn wir die Versuchspersonen ohne besondere Instruktion hierüber lassen, so sehen wir große und bei den einzelnen Personen konstante Verschiedenheiten, wie sie unsere Durchschnittskurven (S. 116 ab) demonstrieren. Da gibt es Rückstoßbewegungen, welche einen ebenso großen Umfang haben wie die Hinbewegung (vgl. Vp. J., Mo, Al), solche, die etwa bei ein Viertel oder ein Drittel des Hinweges aufhören (Sp.), endlich solche, welche von vornherein den Rückstoß möglichst unterdrücken (Kr, We). Im allgemeinen läßt sich sagen, daß die Geschwindigkeit der Rückbewegung, sowohl die Höchst- wie die Durchschnittsgeschwindigkeit, eine geringere ist, wie die des Hinweges (vorausgesetzt natürlich, daß der Rückstoß nicht betont ist). Ein großer Teil der länger ausgedehnten, mit mäßiger Geschwindigkeit ablaufenden Rückbewegungen entspricht der Formel von Loeb und Koranyi.

Zusammenfassung.

Die Geschwindigkeit des Bewegungsbeginns steht in gesetzmäßiger Beziehung zu der erreichten höchsten Geschwindigkeit. Bewegungen, welche eine hohe Höchstgeschwindigkeit entwickeln, pflegen auch mit relativ hoher Anfangsgeschwindigkeit zu beginnen. Ähnliches gilt mit entsprechender Änderung von dem Abschluß der Bewegung. Es herrscht jedoch keine direkte Proportionalität. Die Regel gilt nur von Bewegungen, bei denen nicht die Inten-

tion besteht, den Geschwindigkeitsablauf bestimmt zu modifizieren.

Mit wachsendem Weg wächst die Geschwindigkeit (Binet und Courtier, Groß), und umgekehrt wird mit wachsender Geschwindigkeit der Weg vergrößert, jedoch besteht auch hier keine direkte Proportionalität, weder beim Vergleich der Bewegungen verschiedener Personen, noch der des Einzelindividuums. Ganz kurze Bewegungen brauchen eine unverhältnismäßig lange Zeit. Für all diese Tatsachen sind nicht nur psychologische, sondern auch physiologische Gründe maßgebend, Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit wachsen ziemlich proportional.

Die Gesamtdauer der Bewegungen bleibt infolge dieser Gesetzmäßigkeit für die einzelnen Personen relativ konstant trotz wechselnden Weges. Doch gilt diese Regel nur von den schnellen Bewegungen.

Bei einer Reihe von Personen findet sich häufig eine negative Vorbewegung vor der Hauptbewegung (Ausholbewegung). Sie bezweckt wohl die Setzung der Rückstoßdisposition, die durch die Hauptbewegung ausgenutzt werden soll.

Es bestehen starke individuelle Unterschiede hinsichtlich des Verlaufs der Rückbewegung. Im allgemeinen ist die Geschwindigkeit derselben geringer als die des Hinwegs. Für viele Rückbewegungen gilt die Formel von Loeb und Koranyi.

c. Die Einstellung[1]).

1) Die Bedeutung der Reaktionsform.

L. Lange[2]) hat das Problem der Reaktionsform zum ersten Male gesehen und in grundlegender Weise bearbeitet. Er fand erhebliche Unterschiede der Reaktionszeit je nach bestimmten psychischen Verhaltungsweisen, die er im wesentlichen als Richtungen und Funktionsweisen der Aufmerksamkeit erkannte. War die Aufmerksamkeit

1) Zu diesem Begriff in grundlegender Weise J. v. Kries, Zeitschr. für Psychol. 8, 1 ff.

2) Philos. Stud. IV, S. 457.

ganz der auszuführenden Bewegung zugewendet, so resultierte die »muskuläre Reaktion« mit kurzer Reaktionszeit, vorausgehenden charakteristischen Empfindungen in den reagierenden Muskeln und der Neigung zu Fehlreaktionen; richtete sich die Aufmerksamkeit völlig auf den erwarteten Eindruck, so erfolgten die Reaktionen mit verlängerten Zeiten und waren subjektiv gekennzeichnet durch Spannungsempfindungen in den beteiligten Sinnesorganen; Fehlreaktionen kamen nicht vor, im Gegenteil bestand bisweilen die Tendenz, die Reaktion überhaupt zu unterlassen. Bei Lange finden sich auch schon die Ansätze der besonders von Wundt ausgebildeten theoretischen Auffassung der Reaktionsformen[1]. Die sensorielle Reaktion ist die vollständige Reaktion, welche »Perzeption, Apperzeption und Willenserregung, insbesondere die beiden letzteren in deutlicher Aufeinanderfolge in sich schließt«[2]. Die muskuläre Reaktion ist verkürzt. Bei ihr sind zwei Formen zu unterscheiden. Entweder ist nur die Apperzeption eliminiert, bzw. sie folgt der ausgeführten Bewegung nach, während sich der Willensimpuls noch als psychophysisches Zwischenglied einschiebt; oder — bei den extrem muskulären Reaktionen — es fällt auch der Willensimpuls hinweg, es besteht eine direkte Übertragung der zentralen Sinneserregung in eine motorische Innervation, »so daß der ganze Vorgang zu einem Gehirnreflex wird, bei dem die Perzeption des Eindrucks den Eintritt des Reflexes begleitet und die Apperzeption sogar erst ein diesem nachfolgender psychischer Vorgang ist«.

Neben diese Frage nach der Bedeutung der Reaktionsform als Ausdruck bestimmter Besonderheiten im Bewußtseins- bzw. Aufmerksamkeitsablauf[3], trat dann die Frage nach den Beziehungen der Reaktionsweisen zu individuellen Verschiedenheiten, dem Wert der Reaktionsformen als Kennzeichen von Reaktionstypen[4]. M. Baldwin[5] hat eine Typentheorie aufgestellt, nach der die sensoriellen und muskulären Reaktionsweisen auf eigentümliche grund-

1) Vgl. Phys. Psych. 5, III, S. 412 ff.

2) Wundt a. a. O. S. 412.

3) Hierzu: Münsterberg, Beiträge zur experim. Psychol. I, 72, Götz Martius Philos. Stud. VI, 191 ff.

4) Über diese Formulierung: Deuchler, Wundts Psychol. Stud. IV, 1909, S. 353 ff.

5) Psychol. Review. vol. 2, 1895, p. 259.

legende psychophysische Verschiedenheiten, welche bei den einzelnen Personen einen verschiedenen Ablauf der Prozesse bedingten, zurückzuführen seien. Wundt suchte der Wahrheit, welche dieser Lehre zugrunde liegt, dadurch gerecht zu werden, daß er die Reaktionsform insofern als Kennzeichen eines Reaktionstypus gelten ließ, als die »natürliche« Reaktion der Individuen nach der einen oder anderen der extremen Formen hinneigt, so daß, wenn man eine Anzahl von Versuchspersonen, ohne eine besondere Instruktion nach der einen oder anderen Richtung zu erteilen, reagieren läßt, man alle möglichen Übergänge von der extrem muskulären zur extrem sensoriellen Reaktionsform erhält.

Dabei ist in all diesen Versuchen das Kennzeichen der Reaktionsform, neben den Angaben über subjektive Vorgänge, die Reaktionszeit, sowohl das Mittel der Dauer aus einer größeren Anzahl von Reaktionsversuchen, wie die mittlere Variation derselben, welche charakteristische Verschiedenheiten für die sensoriellen und muskulären Formen (einen größeren Streuungsbereich der ersteren) aufweist.

Diese Mittelberechnungen geben nun zwar ziemlich brauchbare Kriterien für die Feststellung der Reaktionsform im allgemeinen sowohl, wie für die Bedeutung, welche dieser jeweils als typischer Eigenart einer Individualität zukommt. Aber wir haben es dabei immer nur mit einem allgemeinen Zahlenwert zu tun; wir können aus diesem nicht die Gesetzmäßigkeiten erfassen, nach denen er aus den Einzelwerten entstand, und wir können darum, selbst wenn wir die Reaktionszeit als absolut sicheres Kennzeichen der psychologischen Reaktionsweise auffassen dürften — was wir zweifellos nicht dürfen — aus dem Mittelwert keine Einsicht gewinnen in das Getriebe der psychologischen Einzelvorgänge, aus deren zugehörigen Zahlenwerten der Mittelwert entstand. Wir lassen die Versuchspersonen »natürlich« reagieren und finden dann bei einer Reihe von Beobachtungen charakteristische Mittelwerte, wir erteilen die Instruktion, sich sensoriell oder muskulär einzustellen und erhalten dann gesetzmäßige Änderungen der Zahlen, wir wissen aber bei alledem aus diesen Mittelzahlen nichts über die psychologischen Tatsachen, welchen ihnen zugrunde liegen. Wir verstehen aus ihnen nicht die psychologischen Unterschiede, deren äußere Kennzeichen die Mittelzahlen sind, ebenso-

wenig jene als typisch aufzufassenden Differenzen der natürlichen Reaktionsweise, wie die Übergänge von einer Reaktionsart zur anderen, welche wir durch besondere Instruktion erreichen.

Schon Wundt hat diese Mängel der bloßen Mittelberechnungen gesehen. Auf zweierlei Art können nach ihm die »natürliche« Reaktionsweise und die Übergänge von dieser zu den extremen Reaktionsformen zu erklären sein[1]). Entweder bestehe wirklich ein mittleres Verhalten und könne die Aufmerksamkeit sich bis zu einem gewissen Grade zwischen Sinnes- und Bewegungsorgan teilen, oder — was von vornherein als das Wahrscheinlichere gelten dürfe — sie könne in den verschiedenen Versuchen bald in der einen, bald in der anderen Richtung tätig sein. Für diese zweite Auffassung spräche nach Wundt schon der Umstand, daß in manchen Fällen die natürliche Reaktionsweise von Anfang an entweder mit der muskulären oder aber auch mit der sensoriellen ganz oder fast ganz sich decke, Fälle, in denen dann regelmäßig zugleich die Einübung auf die entgegengesetzte Reaktionsweise erschwert sei, während eine beliebige zwiespältige Einübung natürlich viel leichter vonstatten gehe, wenn die natürliche Reaktion von vornherein in einem Wechsel zwischen den beiden Formen bestehe. Zur Entscheidung dieser Frage können aber die Durchschnittsberechnungen allein nicht beitragen. Wundt hat diese deshalb durch Häufigkeits- und Streuungskurven zu ergänzen gesucht, wie sie von Aleschieff[2]) für Reaktionen auf Lichteindrücke und von Bergemann[3]) für Reaktionen auf Schalleindrücke ausgeführt worden sind. Aus diesen Versuchen ergibt sich für Wundt ein zwingender Beweis für die oben geäußerte zweite Vermutung. Die Häufigkeitskurven zeigen nämlich bei den natürlichen Reaktionen im allgemeinen zwei Gipfel, welche den Zeiten der muskulären und sensoriellen Reaktion entsprechen, d. h. die natürliche Reaktion besteht aus zwei Teilen von Reaktionen, einem Teil sensorieller und einem muskulärer, die kombiniert eine mittlere Reaktionsweise vortäuschen. Extrem muskulär bzw. sensoriell reagierende Versuchspersonen zeigen schon bei der natürlichen Reaktion in ihrer Häufig-

---

1) a. a. O. S. 413, 420.

2) Philos. Stud. XVI. 1900 S. 15 ff.

3) Wundts Psychol. Stud. I. S. 179 ff. zusammengefaßt in Wundt, Physiol. Psych. III. S. 420 ff.

keitskurve nur einen Gipfel, indem die Reaktionen mit der Reaktionszeit sich häufen, welche der betreffenden Form entspricht. Übt man solche Versuchspersonen auf die entgegengesetzte Form ein, so entsteht ein der Reaktionszeit dieser Form entsprechender zweiter Gipfel, welcher mit der Übung wächst und bei maximaler Übung allein übrig bleibt. — Nach dieser Lehre wäre also die natürliche Reaktion nicht etwas Selbständiges, sondern im wesentlichen eine Mischung, aus den beiden extremen Reaktionsformen, und alle Übergänge wären aus den Mischungsverhältnissen dieser beiden Formen zu erklären.

Neuerdings hat sich dann N. Ach[1]) noch einmal mit den Reaktionsformen beschäftigt. Er hat die Mängel, welche der Reaktionsversuch in der üblichen Form aufweist, dadurch zu beseitigen gesucht, daß er die — von ihm in besonderer Weise ausgebildete — systematische Selbstbeobachtung einführte und nach jedem einzelnen Reaktionsversuch die Erlebnisse der Versuchspersonen genau protokollierte. Gegen sein Verfahren sind Einwendungen, insbesondere von Wundt[2]), erhoben worden, die wenigstens zum Teil Mängel der Technik treffen. Trotzdem ist nicht zu bezweifeln, daß die Arbeit Achs für die Verwertung des Reaktionsversuchs in der Psychologie wichtige neue Auffassungen und Erkenntnisse gebracht hat.

Für die Ziele unserer Arbeit sind insbesondere die Anschauungen wichtig, welche Ach aus seinen Versuchsergebnissen über die Bedeutung der Reaktionsformen gewonnen hat. Nach ihm sind die Reaktionsweisen nichts anderes, als die Ergebnisse zweier verschiedener Aufgabestellungen[3]). »Bei der muskulären Form besteht die Aufgabe, möglichst rasch nach dem Erscheinen des bekannten Reizes zu reagieren. Da sich zu diesem Zweck in der Regel die Aufmerksamkeit auf die Ausführung der Bewegung, welche die Zielvorstellung bildet, einstellt, so besteht eine muskuläre Richtung der Aufmerksamkeit, und umgekehrt pflegt die Reaktion dann am raschesten abzulaufen, wenn sich die Aufmerksamkeit auf die Bewegung einstellt. Eine andere Aufgabe liegt dagegen bei den sensoriellen Reaktionen vor. Hier besteht die Aufgabe darin, erst zu reagieren, nachdem die Auffassung des vorher bekannten Reizes voll-

---

1) Ach, Üb. d. Willenstätigkeit u. das Denken. Göttingen 1905.
2) Wundt, Über Ausfrageexperim. Psychol. Stud. III. 1907 S. 301 ff.
3) a. a. O. S. 114.

zogen ist. Dies geschieht am besten dadurch, daß sich die Aufmerksamkeit auf den kommenden Reizeindruck einstellt, da in diesem Fall das Ziel der Absicht die Erfassung des Reizes und erst sekundär die Ausführung der Bewegung bildet. Wird nun umgekehrt auf Grund der Instruktion durch Richten der Aufmerksamkeit auf den kommenden Eindruck die Auffassung des Reizes zur Zielvorstellung gemacht, so ist die Apperzeption des Reizes der Änderung entsprechend eine andere als bei der muskulären Instruktion. Wir erhalten infolgedessen bei sensoriellen Reaktionen längere Zeiten als bei muskulären, ebenso auch einen relativ größeren Streuungsbereich der Einzelwerte. Denn der Moment, in dem der Abschluß der Erfassung des Eindrucks für die Versuchsperson gegeben ist, ist . . . außerordentlich schwankend, so daß die Bewegung bei der einen Reaktion früher, bei der anderen später erfolgt[1]). Der Lehre Wundts von dem Unterschied der verkürzten (muskulären) und verlängerten (sensoriellen) Reaktion, der darin bestünde, daß bei der verkürzten Reaktion nur eine Perzeption, bei der verlängerten eine Apperzeption des Reizes stattfinde, tritt Ach nicht bei; auch bei der verkürzten Reaktion ist nach ihm ein Apperzeptionsakt vorhanden, aber nicht die Apperzeption des Reizes, sondern die einer Veränderung. Von der genaueren Erfassung des Reizes wird abgesehen, es schließt sich die Bewegung unmittelbar an die Apperzeption schon der bloßen Veränderung an. Es stimmen also nach Ach beide Formen darin überein, daß apperzeptive Handlungen bei ihnen da sind, nur daß bei der muskulären Reaktion der Moment des Überganges in die Bewegung in einer früheren Phase der Entwicklung des Apperzeptionsaktes gegeben ist. Die innere Gleichartigkeit[2]) der muskulären und sensoriellen Reaktion zeigt sich nach Ach auch darin, daß auch bei der sensoriellen eine bewußte Willenserregung der Bewegung nicht vorauszugehen braucht, auch dann nicht, wenn eine völlige Apperzeption des Reizes stattgefunden hat. Diese letztere Tatsache besonders, welche leicht aus der Selbstbeobachtung bei der Ausführung von Reaktionsversuchen zu bestätigen ist, wird für die Erörterung unserer Versuchsergebnisse festzuhalten sein.

---

1) a. a. O. S. 114. Über die Bedeutung der Aufgabe für den Reaktionsversuch auch Meumann (Arch. f. d. ges. Psychol. IX, 1907, S. 118 ff.)

2) Für diese auch schon Götz Martius (Wundts Philos. Stud. VI.).

Entsprechend seiner Auffassung von der Natur der Reaktionsformen fällt Ach die Erklärung der Ausnahmen von den Regeln L. Langes (die man beobachtet hat) sowie das Verständnis der verschiedenen Reaktionstypen nicht schwer. »Wir haben es nicht mit einem gesetzmäßigen Verhalten der Sinne zu tun, daß stets die muskuläre Einstellung die kürzeren Zeitwerte liefert, sondern mit verschiedenen Aufgaben. Fällt für die betreffende Versuchsperson die muskuläre Einstellung mit der Aufgabe, möglichst rasch zu reagieren, zusammen, was die Regel ist, so liefert sie kürzere Zeiten als die sensorielle Reaktionsweise, sofern bei der letzteren mit der Richtung der Aufmerksamkeit auf den kommenden Eindruck die Absicht besteht erst zu reagieren, nachdem der Reiz vollständig oder klar erfaßt ist. Fällt dagegen die Richtung der Aufmerksamkeit auf den kommenden Eindruck mit der Absicht möglichst rasch zu reagieren zusammen, so können hier ähnliche Zeitwerte wie bei den verkürzten Reaktionen erhalten werden. Ebenso braucht wiederum die Richtung der Aufmerksamkeit auf die auszuführende Bewegung für die betreffende Versuchsperson nicht notwendig mit der Absicht möglichst rasch zu reagieren zusammenzufallen, so daß diese muskulären Reaktionen länger dauern können als die sensoriellen. So erklären sich die verschiedenen Typen durch die verschiedenen Aufgabestellungen und durch das verschiedene Verhalten, mit dem die einzelnen Personen auf Grund ihrer Gewohnheit, Veranlagung und Auffassung der Instruktion diesen Aufgaben gegenüber treten«[1]).

Es erschien geboten, etwas genauer auf diese Ansichten Achs einzugehen, da sie für die Erledigung unserer Aufgabe von Bedeutung sind. Der Fortschritt, welcher in seiner Betrachtungsweise liegt, ist der, daß die Reaktion, als ein Ganzes aufgefaßt, nicht das Aufmerksamkeitsphänomen isoliert betrachtet wird. Die Reaktion als Ganzes wird durch die Absicht, die Einstellung bestimmt. Freilich ist nicht zu übersehen, daß mit den Darlegungen Achs nur das Problem eine neue Wendung gefunden hat, eine Lösung ist damit nicht gegeben. Denn, wenn es jetzt heißen soll, die Aufgabe, die Absicht, die Einstellung determiniere den Reaktionsablauf, so erhebt sich nunmehr erst die Frage, in welcher Weise bei diesen

1) a. a. O. S. 123.

verschiedenen Einstellungen die einzelnen psychischen Faktoren ausgebildet sind und zusammen arbeiten; hinsichtlich des Problems von L. Lange wäre festzustellen, welche Rolle jeweils bei den verschiedenen Aufgaben dem Aufmerksamkeitsphänomen zukommt, welche Bedeutung es gewinnt, je nach seiner verschiedenen Gestaltung für den Ausfall der Reaktion und welche Ausbildung des Apperzeptionsprozesses bei den einzelnen Reaktionsformen möglich ist.

Nun hat Ach auch über diese genauere psychologische Struktur der »Reaktionsform« Aufschluß zu geben versucht, sein vornehmlichstes Hilfsmittel dabei war die Selbstbeobachtung. Auf Grund dieser hat er eine Reihe von Einstellungsformen unterschieden und die psychische Phänomenologie dabei genauer beschrieben. Das einzige objektive Kontrollmittel ist in seinen Versuchen die Reaktionszeit, welche jedoch als sehr unsichere Stütze angesehen wird, da »gleiche Reaktionszeiten auch ganz verschiedenen seelischen Zuständen entsprechen können«[1]. Andererseits hat man aber auch gegen die Resultate der Selbstbeobachtungsmethode Achs, und gegen Einzelheiten wohl mit Recht, Einwände erhoben[2]. Bei dieser Lage der Dinge muß jedes weitere objektive Kontrollmittel von Wert erscheinen. Ein solches, das gerade die einzelne Reaktion, wenigstens in gewissem Maße, objektiv widerspiegelt, besitzen wir in der Aufzeichnung der Reaktionsbewegung. Und wenn wir Ach gewiß auch zugestehen müssen, daß Fragen der psychischen Phänomenologie letzthin immer auf die Beobachtung des Erlebens zurückgehen müssen, so werden wir doch jedes objektive Hilfsmittel ergreifen, das uns diese Beobachtungen mehr zu sichern verspricht. Und so, glauben wir, wird künftighin auch für das Studium der psychischen Einzelphänomene, welche die Reaktionsform bedingen, die Registrierung der Bewegung Berücksichtigung finden müssen.

Das Ziel unserer Arbeit freilich ist ein anderes. Es kam für diese Untersuchungen nicht sowohl darauf an, weiter in die Einzelheiten der seelischen Erscheinungen bei den Reaktionsweisen einzudringen, als festzustellen, inwieweit jene Kennzeichen der Reaktionsformen, welche wir schon kennen, in gesetzmäßigen Beziehungen stehen zur Form der Reaktionsbewegung.

1) a. a. O. S. 7.

2) Vgl. Wundt, Psychol. Stud. III.

Mit anderen Worten, wir haben festzustellen, welche Korrelationen bestehen zwischen Einstellung, Reaktionszeit und Form der Bewegung. Nach Ach war es die Einstellung, welche das Verhältnis vom Apperzeptions- und psychomotorischen Vorgang bestimmte. Wir halten uns hier vorwiegend an den motorischen Teil und untersuchen diesen in seiner ganzen Ausdehnung. Die Instruktion bezog sich bei unseren Versuchen genau wie bei Ach nur auf die Auffassung des Eindrucks und den Übergang in die Bewegung: sie bestimmte die Versuchspersonen entweder erst genau aufzufassen und dann zu bewegen oder, sobald etwas wahrgenommen wurde, sofort zu bewegen. Die Art und Weise dagegen, in welcher die Bewegung verlief, war der Person freigestellt. Wir betrachten nun gerade den Ausfall dieser in ihren Einzelheiten von der Versuchsvorschrift nicht betroffenen Bewegung und setzen ihn als Ausdrucksphänomen in Beziehung zur Einstellung. Bedingt nach Ach die Absicht die Reaktionsform, indem durch sie entweder eine längere Dauer des Apperzeptionsaktes oder ein schnellerer Übergang in die Bewegung bestimmt wird, so ist über den Verlauf der Bewegung selbst noch gar nichts ausgemacht. Ein schneller Übergang in die Bewegung braucht a priori noch keine »schnelle« Bewegung zu bedingen; mit anderen Worten: die Beziehungen zwischen Reaktionszeit und Bewegungsform sind von vornherein keineswegs als eindeutig anzunehmen, — und sie sind tatsächlich nicht eindeutig. Es ist aber klar, daß gerade diese Beziehungen wichtig werden können für die Feststellung von »Typen«.

Was diese letzteren anlangt, so wird uns unsere Methode auch erlauben, ein Genaueres über jene von Wundt und seinen Schülern mit Hilfe der Häufigkeitskurven bearbeitete Frage festzustellen, ob die »natürliche Reaktion« durch wirkliche Übergänge oder nur durch dauerndes Schwanken zwischen den extremen Formen hervorgerufen ist. Während Wundt nach den jüngsten Untersuchungen mehr der letzten Möglichkeit allein zuneigt, hat Ach das Vorkommen beider Entstehungsbedingungen beobachtet und eine Reihe mittlerer, »zentraler« Einstellungen angegeben. —

Indem wir außer der Reaktionszeit den Gesamtablauf der Bewegung verzeichnen, werden wir auch aus diesem Schlüsse machen können, ob wir es nur mit Schwankungen zwischen extremen Ein-

stellungen oder mit wirklichen Übergängen und Abstufungen zwischen ihnen zu tun haben.

2. Die Form der Bewegungen bei muskulärer und bei sensorieller Einstellung.

Die Bedeutung der Einstellung für den Ausfall der Bewegung in ihrem ganzen Verlauf trat in den Versuchen überall sehr deutlich hervor. Es zeigte sich sofort, daß im Anschluß an die Veränderung der Einstellung der Verlauf der Bewegungskurve sich in charakteristischer Weise änderte. Die nächsten Figuren geben einige Beispiele hierfür. Die Tafelfiguren 26—38 repräsentieren Kurven von Bewegungen, welche unter verschiedener Einstellung ausgeführt worden sind; es ist bei den einzelnen Vp. jeweils eine Kurve mit muskulärer, sowie eine mit sensorieller Einstellung wiedergegeben, sowie endlich eine Assoziationskurve, d. h. eine Reaktion, bei welcher eine Bewegung gemacht wurde, sobald eine Assoziation zu einem erscheinenden Reizwort gefunden worden war. Als sensoriell wurden, wie schon bemerkt, nur Reaktionen angesehen, welche nach den subjektiven Angaben solche waren, und welche aus Versuchsserien stammten, in denen keine vorzeitigen Reaktionen bzw. auf dazwischen gestreute Vexierversuche keine Fehlreaktionen auftraten. Den von Deuchler[1]) und Wirth[2]) gegen die Versuchsanordnung Achs (wie ich meine auch gegen diese mit Unrecht) erhobenen Einwand, daß die Reaktionen bei den verschiedenen Einstellungen notwendigerweise extrem verschieden werden müssen, wenn man nicht auch bei der sensoriellen Instruktion die größtmögliche Schnelligkeit verlange, bei der die Verabredung noch korrekt durchgeführt werden könne, glaube ich für meine Versuche abweisen zu dürfen. Bei diesen war die von jenen erhobene Forderung erfüllt, insofern, als die Versuchspersonen instruiert waren, ohne Verzug nach der Erfüllung der Aufgabe in die Bewegung überzugehen. Andererseits muß, sollen die Einstellungen nicht verwischt werden, die Instruktion in extremer Weise erteilt werden, d. h. bei der sensoriellen Reaktion: erst genau den Eindruck erfassen, dann reagieren. Im übrigen erwiesen sich die sensoriellen Versuche nach den Angaben der Ver-

1) Wundts Psychol. Stud. IV, S. 363.

2) Wundts Psychol. Stud. III, 301, IV, 139.

suchspersonen meistens als ein einheitliches Ganzes, indem an den Apperzeptionsakt, ganz wie es Ach behauptet, sich die Bewegung anschloß, ohne daß irgend ein neuer Willensakt dazwischen trat. Bei einem derartigen Verhalten kann wohl keine Rede davon sein, daß der charakteristische Ausfall der Reaktionszeit durch eine durch die Instruktion bewirkte, gewissermaßen künstliche, Verlängerung bedingt sei. Im übrigen registrierten wir bei unseren Versuchen nicht nur die Reaktionszeit, sondern auch die Bewegungskurve. Und bei Aufnahme dieser ergab sich das zunächst paradox anmutende Resultat, daß gerade dann, wenn von den Versuchspersonen nach ihren Selbstbeobachtungen eine besondere Pause und ein neuer Willensakt bei einem Versuch mit sensorieller Einstellung angegeben wurde, die Kurve gewöhnlich einer extrem muskulär bedingten ähnlich war. —

Betrachten wir nun die einzelnen zusammengestellten Kurven, die von den Vp. J. Kr. Sp. Mo. Pa. stammen, so sehen wir trotz großer, die einzelnen Individuen kennzeichnender Unterschiede der Kurvenform überhaupt, allgemeine, bei den einzelnen Personen durchweg erfolgte Veränderungen der Bewegung, welche mit der Veränderung der Einstellung zusammenfallen. Wir finden bei der muskulären Reaktion überall eine (entsprechend dem individuellen Verhalten der betreffenden Person) sich schnell entwickelnde und schnell verlaufende Bewegung, gewöhnlich mit Rückstoß (in unseren Beispielen haben Tafelfig. 26—33 Rückstoß, nur die mit langsam ansteigender Bewegung reagierende Vp. Pa. in Tafelfig. 37 hat keinen). Diese Bewegungen bei motorischer Einstellung sind überall die schnellsten, die das betreffende Individuum überhaupt leistet. Sie zeigen, unbeschadet der großen individuellen Differenzen, die wir feststellen, ganz allgemein die charakteristischen Kurven der schnellen Bewegungen mit ihren Beginn-, Verlaufs- und Abschlußeigentümlichkeiten, welche wir bereits kennen gelernt haben. Bei der sensoriellen Reaktion wird die Bewegung langsamer in ihrem ganzen Verlauf, die Kurve verliert ihre Steilheit und im allgemeinen auch bald ihren Rückstoß. Wie die Ausrechnungen (vgl. Textfig. 21 u. 22) und besonders die Durchschnittskurven im Abschnitt über die individuellen Differenzen zeigen, besteht diese Abhängigkeit der Kurve von der Einstellung allenthalben, und im Verlauf einer Versuchsserie wird man jedesmal überrascht durch die Feinheit, mit

welcher die Bewegungskurve auf Änderungen der Einstellung reagiert. Unbeabsichtigte Änderungen der Einstellung, sowie solche, welche durch die systematisch angewandten Störungsreize hervorgerufen wurden, gaben sich sofort in Änderungen der Kurve kund. Dabei war die Versuchsperson, wie nicht überflüssig ist zu bemerken, stets völlig unbeeinflußt; sie konnte die von ihr gezeichneten Kurven nicht sehen, ebensowenig wie sie etwaige Störungsreize voraus wissen konnte.

Es ergibt sich somit aus unseren Versuchen, daß die Einstellung nicht nur die Reaktionsform determiniert im Sinne der abgekürzten oder vollständigen Reaktion und damit die Reaktionszeit, sondern daß sie auch die Form der Reaktionsbewegung in eindeutiger Weise bestimmt. Und zwar sind, wie hier gleich angeführt werden kann, die Beziehungen der Bewegungskurve zu der Einstellung viel klarer als die der Reaktionszeit, oder, mit anderen Worten, die Reaktionsform wird in der Bewegungskurve wesentlich eindeutiger wiedergegeben, als in der Reaktionszeit.

Dieses Ergebnis kann gewiß nicht überraschen. Es ist kein Wunder, daß, wenn die Einstellung sich ganz dem motorischen Vorgang zuwendet, wenn der erscheinende Reiz gewissermaßen nur das Signal bildet für den Übergang in die Bewegung, daß dann auch die Bewegung in ihrem ganzen Verlauf diese Einstellung auf das Motorische widerspiegelt, und daß umgekehrt da, wo sich bei der Reaktion die Absicht vorwiegend auf das genaue Erfassen des Reizes richtet, die Entwicklung des psychomotorischen Prozesses eine weniger energische und langsamere wird.

Man kann somit, wenn man von der Bewegungskurve ausgeht, das Problem der Reaktionsform einheitlich betrachten unter dem Gesichtspunkt der motorischen Einstellung. Je mehr von der Gesamtheit der seelischen Prozesse, sowohl in der Vorbereitung der Reaktion wie beim Erleben derselben, sich bezieht auf den motorischen Vorgang, um so »muskulärer« wird die Reaktion auch im Ablauf der Bewegung. Je mehr von den seelischen Vorgängen sich auf Auffassungs- und Vorstellungsprozesse beziehen, um so weniger energisch verläuft die Bewegungskurve. Man

kann ferner, wenn man weiter theoretisieren will, die Tatsachen auch unter dem Gesichtspunkt der psychischen Energie als Ausdruck für die Gesamtheit innerer und äußerer Willenshandlungen zusammenfassen,

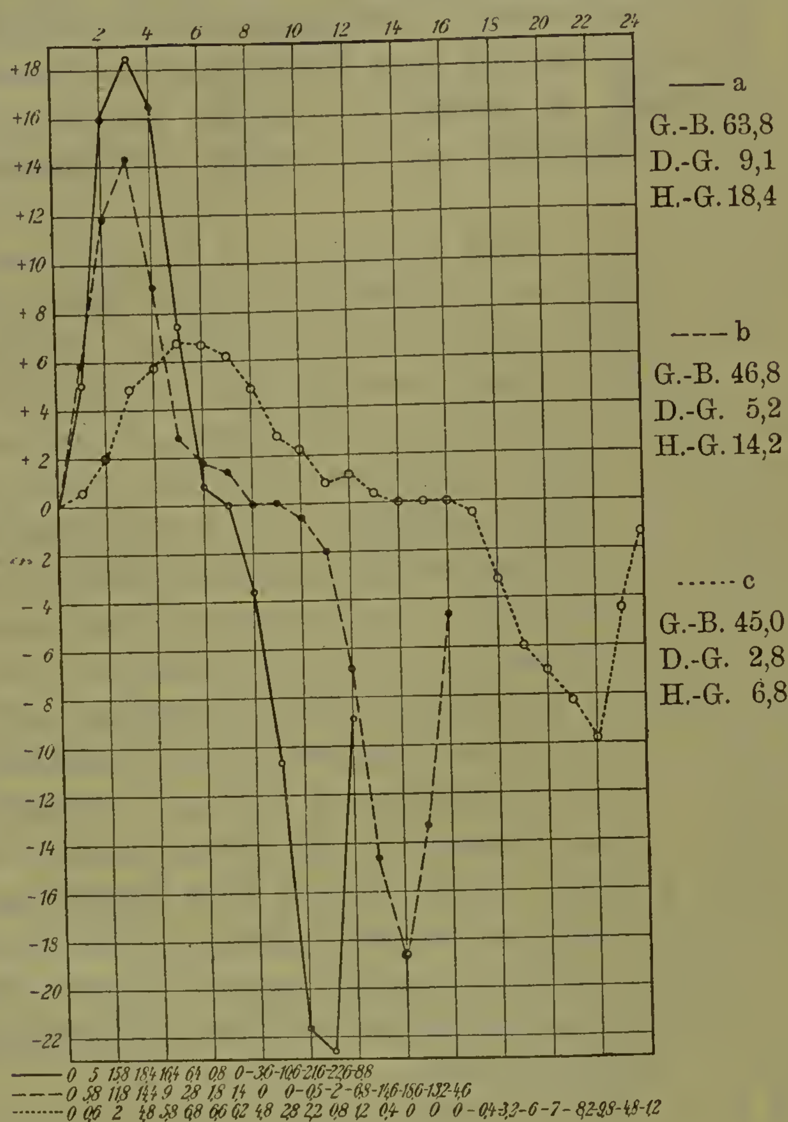


Fig. 21 a — c.

Geschwindigkeitskurven sensorieller Bewegungen in Abstufungen. Vp. J. Zeit in $^1/_{50}$ Sek. Vgl. hierzu Durchschnittskurve Textfig. 24 u. Textfig. 6 a (extrem motor.).

und sagen: Die Reaktion und die ihr entsprechende Bewegungskurve wird um so motorischer, je mehr von der psychischen Energie für die Vorbereitung und Entwicklung des Bewegungsprozesses verwendet wird.

Diese Auffassung wird dadurch begründet, daß wir unsere Kurven fast in einer Stufenleiter je nach der sie bedingenden Einstellung an-

einander reihen können. In den Tafelfiguren 26—29 u. 33—36 sind verschiedenartige Reaktionen aneinander gestellt, neben die motorische (26, 33, 34) eine einfach sensorielle (27, 28, 35), dann eine Assoziationsreaktion (29, 36). Die Kurven machen deutlich, wie diese letztere noch eine weitere Abschwächung des motorischen Prozesses gegenüber der einfach sensoriellen zeigt. Ebenso demonstrieren die Textfiguren 21 (a, b, c) und 22 (a, b, c, d) (die zugehörigen, extrem motorischen Kurven sind in den Durchschnittsberechnungen und

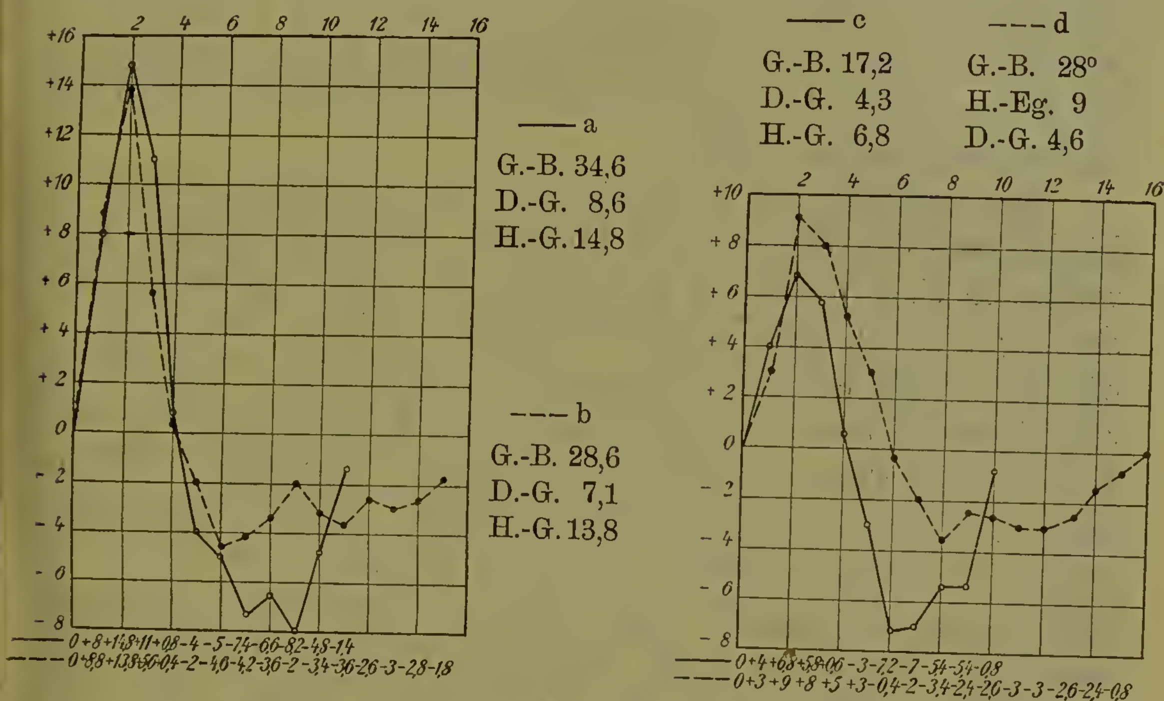


Fig. 22a—d.

Geschwindigkeitskurven sensorieller Bewegungen in Abstufungen. Vp. Mo. Vgl. hierzu Durchschnittskurven Mo.

für Fig. 21 (Vp. J.) auch in Textfig. 6a zu vergleichen) in Geschwindigkeitskurven die mit steigender sensorieller Einstellung eintretende Veränderung der Bewegungskurve. Diese Veränderung besteht, wie schon bemerkt, ganz allgemein in einer Verlangsamung der ganzen Bewegung, in einer Abnahme des Bewegungsumfanges, desgleichen der Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit. Im ganzen kann man gegenüber der Steilheit des Anstiegs und Abfalls bei der extrem motorischen Kurve, von einer »Verflachung« der Bewegungskurve mit zunehmender »sensorieller« Einstellung reden. Hierbei ist freilich zu berücksichtigen, daß bei entsprechender Verkürzung des Weges

die Tendenz zum Rückstoß wieder steigt (vgl. die früheren Ausführungen S. 33 ff). Überhaupt bestehen Verschiedenheiten der Versuchspersonen in der Art, wie sich ihre Bewegungskurve mit Abnahme der motorischen Einstellung verändert, indem die einzelnen die Neigung haben, die Bewegung — immer entsprechend ihrem sonstigen Verhalten — entweder mehr zu verlangsamen oder zu verkürzen. Demgemäß sind auch Verschiedenheiten hinsichtlich des Rückstoßes augenfällig. Vp. J. verliert den Rückstoß mit zunehmender Verflachung der Kurve vollständig (in Textfig. 21 b u. c ist die Rückbewegung sicher keine Rückstoßbewegung mehr), während bei Vp. Mo auch bei der Assoziationskurve noch eine gewisse Rückstoßtendenz zu bestehen scheint.

Eng verknüpft mit der Frage nach der motorischen Einstellung ist die nach der Wirkung der Störung. Zur Untersuchung dieser wurden in einer Reihe von Reaktionen mit extrem motorischer Einstellung plötzlich anders gefärbte Karten exponiert und riefen so oft das Gefühl der Überraschung mit entsprechender Veränderung der Kurven hervor. Bei einer Reihe von Versuchen wurden auch Nebenreize in Form von elektrischen Schlägen angewendet; doch sind diese Versuche noch nicht abgeschlossen. Solche Störungsreize zeigten verschiedenen Effekt. Entweder resultierte eine Kurve, die durchaus jenen entsprach, welche man bei systematischer Einführung sensorieller Einstellung erhielt. Solche Kurven zeigen die Tafelfiguren 39 und 41, welche von den Vp. Mo. und Kr. stammen, und welche mit den motorischen bzw. sensoriellen Kurven dieser Versuchspersonen in den Figuren 26 und 33 zu vergleichen sind. Oder es traten Besonderheiten auf, wie z. B. Tafelfig. 42 (von Vp. Mo. stammend) zeigt. Hier ist plötzlich eine Pause zwischen Hin- und Rückbewegung aufgetreten, wo man direkten Rückstoß erwartet hätte. Eine andere Form zeigt die Kurve Tafelfig. 40 und weitere Eigenarten die Tafelfig. 43, bei welcher die Vp. Kr noch mit einer Frage beschäftigt war, als der Reiz erschien. Die Kurve sieht aus, als ob sie in ihrem oberen Teil vorzeitig abgebremst wäre. Ähnliches sehen wir öfters bei vorzeitigen oder Fehlreaktionen, z. B. in Tafelfig. 44.

Das Problem der Wirkung von Nebenreizen auf die Bewegungskurve ist aber durch die Versuche, die wir in dieser Richtung angestellt haben, keineswegs genügend aufgeklärt worden. Insbesondere wird

es nötig sein, größere Reihen von Versuchen mit systematischer Variation des Zeitverhältnisses zwischen Haupt- und Nebenreiz anzustellen. Auf diese Weise werden wohl die verschiedenen Momente, welche man einerseits als Aufmerksamkeitsanspannung und ihren zeitlichen Verlauf vor dem Eintritt des Reizes, andererseits als die mehr physiologischen der gegenseitigen Bahnung und Hemmung von Reizen in Erwägung gezogen und untersucht hat, in ihrer Bedeutung für den Bewegungsablauf deutlicher gemacht werden[1]).

Wenn aber diese Verhältnisse auch noch genauer zu klären sind, so dürfen wir doch wohl schon jetzt als gesicherte Erkenntnis betrachten, daß das eindeutigste äußere Kennzeichen für die motorische Einstellung und damit auch für die Reaktionsform die Bewegungskurve ist. Es sind zwar noch die zwischen extrem muskulären und sensoriellen vermittelnden Einstellungen mit den zugehörigen Bewegungsabläufen weiter zu erforschen, für die extremen Einstellungen erscheinen aber schon jetzt die Beziehungen zur Bewegungskurve wenigstens im groben klar zu sein. Wo wir eine extrem motorische Kurve finden, da dürfen wir auch einen entsprechenden seelischen Vorgang, Einstellung oder Entschluß annehmen. Je mehr Aufmerksamkeit und Willensvorgänge sich auf andere Erscheinungen richten, als auf den Bewegungsvorgang, um so weniger »energisch« erscheint dieser in seinem Ablauf. Dunkel oder unbewußt ablaufende Bewegungen zeigen niemals extrem motorische Form. Das trat schon bei den durch Rückstoß bedingten Rückbewegungen hervor, die, wenn sie nicht besonders betont waren, niemals die Energieentwicklung der Hinbewegung zeigten. Das wird noch deutlicher bei aneinander gereihten, fortgesetzten Bewegungen hervortreten, bei denen das Bindemittel des Rückstoßes fehlt (vgl. S. 153 ff.). Diese Beobachtung stimmt übrigens mit Tatsachen überein, die schon bekannt sind. Unwillkürliche Bewegungen, ob durch direkte Reizung des Nerven oder durch Reflex bedingt, erreichen unter normalen

---

1) Hierzu: Bowditch u. Warren, Journ. of Physiol. 9, 1890, S. 60 (Einfluß v. Nebenreizen auf d. Patellarreflex). Cleghorn: Amer. Journ. of Physiol. 1, 1898, S. 336. (Einfluß von Nebenreiz auf willkürl. Muskelkontraktion.) Yerkes, Bahnung und Hemmung der Reaktionen auf taktile Reize durch akustische Reize beim Frosch (Pflüg. Arch. 107, 1905, S. 207). Hofbauer, Interferenz zwischen verschiedenen Impulsen im Zentralnervensystem. Pflüg. Arch. 68, Merzbacher: Pflüg. Arch. 88, Wundt: Ph. Ps. 5. Auflage, III, 439 ff.

Verhältnissen nie die Energieentwicklung, welche »gewollte« Bewegungen entfalten können.

Die Gesetzmäßigkeit der Korrelation zwischen Bewegungsform und Einstellung gilt durchweg, soweit wir es mit regulären und einheitlichen Reaktionsvorgängen zu tun haben. Insbesondere gilt die Abflachung der Bewegungsform von den sensoriellen Reaktionen, die einen einheitlichen Akt darstellen, ohne Dazwischentreten eines neuen Entschlusses. Tritt ein solcher neuer Willensimpuls ein, was oft der Fall ist, wenn, wie schon L. Lange bemerkt hat, bei der sensoriellen Reaktion der Übergang in die Bewegung fast vergessen wurde, dann können wir extrem motorische Bewegungsformen erhalten; wir haben dabei sehr lange Reaktionszeiten. Trotz dieser haben wir es aber in solchen Fällen nicht mehr mit einer rein sensoriellen Reaktion zu tun, sondern mit einer motorischen[1]). Im übrigen gibt es, wie schon Ach[2]) dargelegt hat, Übergänge von den mechanisch ablaufenden sensoriellen Reaktionen, bei denen an die Apperzeption ohne besonderen Willensakt die Bewegung angefügt wird, bis zu solchen, bei denen ein »entschlußähnlicher« Vorgang deutlich wird.

Es war nicht möglich auf Grund der vorliegenden Beobachtungen etwas auszusagen über die Beziehungen, welche zwischen solchen Übergangsformen und den zugehörigen Bewegungskurven bestehen. Auch die Beobachtung des Auftretens motorischer Kurven bei sensorieller Einstellung mit wiedererscheinendem energischen Willensimpuls wurde nur öfters, nicht konstant, gemacht.

3. Reaktionsform und Reaktionszeit.

Seit der Aufstellung der Lehre von den Reaktionsformen hat man von Ausnahmen berichtet[3]), infolge deren das Zusammenfallen von Verlängerung der Reaktionszeit mit der sensoriellen, von Verkürzung derselben mit der muskulären Einstellung kein durchgehendes Gesetz sein sollte. Und noch letzthin hat Ach, von den Resultaten der systematischen Selbstbeobachtung ausgehend, die psychologische

---

1) Hierzu schon Exner: Pflüg. Arch. VII, 1873, S. 615.
2) Dazu auch Wirth, Analyse der Bewußtseinsphänomene S. 403.
3) Cattell, Flournoy, Baldwin, Münsterberg u. a.

Bedeutung der Reaktionszeiten angegriffen. Diese Bedenken treffen ohne Zweifel zu, soweit es sich um einzelne Werte handelt. Auch wir haben in unseren Beobachtungen die Unsicherheit der einzelnen Reaktionszeitwerte als Kennzeichen für die Einstellung feststellen müssen und die Überlegenheit der Bewegungsform in dieser Hinsicht betont. Etwas anderes aber ist es, wenn man größere Reihen von Beobachtungen zusammenstellt; und gerade die Mittel- und Streuungsberechnungen aus solchen sind als für die Erkennung der Reaktionsform wertvoll hingestellt worden (insbesondere von Wundt und seiner Schule). Aber auch gegen die Verrechnung solcher Reihen hat man den Einwand erhoben, daß sie infolge des Mangels der Beobachtungsmöglichkeit im einzelnen Versuch psychologisch Verschiedenartiges zusammenbringe und zu einheitlichen Mitteln verarbeite. Gegen diese Einwände hat die Schule Wundts neuerding noch weitere Sicherungsmaßregeln getroffen durch Einführung besonderer Kontrollversuche und durch stärkere Rücksicht auf die mittleren Schwankungen. Wir glauben aus unseren Versuchen gleichfalls einen Beitrag zur Entscheidung der Frage nach der Bedeutung der Reaktionszeit für die Reaktionsform liefern zu können, indem wir die Betrachtung der Bewegungskurve zu Hilfe nehmen. Wir verfügen zwar, infolge der Art unserer Versuche, nicht über eine so große Anzahl von Reaktionszeitwerten, als sie im allgemeinen für die Aufstellung von solchen Mittelberechnungen für nötig gehalten werden. Doch sind die Reihen von Werten bei einzelnen Versuchspersonen nicht unbeträchtlich und dürften immerhin für den vorliegenden Zweck durchweg genügen. Es sind also im folgenden für die einzelnen Versuchspersonen die Reaktionszeitwerte einerseits für die nach der Bewegungsform und den Angaben der Selbstbeobachtung zweifellos motorischen und andererseits für die nach denselben Kriterien ebenso zweifellos sensoriellen Reaktionen zusammengestellt worden und miteinander verglichen. Tabelle F zeigt die Resultate.

Aus der Tabelle geht in sehr klarer Weise hervor, daß die Durchschnittsberechnungen aus einer Anzahl von Versuchen auch in dem Mittel der Reaktionszeit ein genügend sicheres Maß für die Kennzeichnung der Einstellung geben. Wie die Tabelle ganz eindeutig demonstriert, fällt die motorische

Tabelle F.

Reaktionszeiten im Durchschnitt bei den einzelnen Vp.
(Zeiten in $^1/_{100}$ Sek.)

Versuchsperson	Art der Reaktion	Reaktionszeit	Mittlere Var.
Al.	sensor.	65	
	motor.	22	6
Hi.	unwillk. Hemmung	8	1
	motor.	12	3
Ho.	sensor.	26	7
	motor.	22	5
J.	sensor.	41	5
	motor.	18	4
	Rückstoß betont	27	5
	hemmen	25	1
Kr.	sensor.	68	23
	motor.	24	5
Mo.	sensor.	44	11
	motor.	31	13
	motor. energ.	19	8
	motor. überhaupt	25	10
Pa.	sensor.	52	21
	motor.	14	2
Pl.	sensor.	46	24
	motor.	17	3
Re.	sensor.	64	11
	motor.	32	15

Versuchsperson	Art der Reaktion	Reaktionszeit	Mittlere Var.
Rü.	sensor.	48	13
	motor.	21	1
Sp.	sensor.	62	30
	motor.	21	1
	motor. energ.	15	3
	motor. überhaupt	18	5
Tr.	sensor.	13	
	motor.	13	1
We.	sensor.	61	15
	motor.	24	4

Form der Bewegungskurve auch mit der (für die betreffende Versuchsperson) kürzesten Reaktionszeit zusammen, während die weniger energisch verlaufenden Kurven mit verlängerten Reaktionszeiten parallel gehen. Die mittlere Variation zeigt gleichfalls der Veränderung der Bewegungskurve entsprechende Eigentümlichkeiten. Wenn schon früher die mittlere Variation als Charakteristikum für die Reaktionsform hingestellt worden ist, so wird man ihr diese Bedeutung auch nach dem Verlauf der Reaktionsbewegung zugestehen müssen. Die mittlere Variation der Reaktionszeiten, die zu den motorischen Bewegungskurven gehören, zeigt auch nach unseren Berechnungen nicht mehr als etwa die Hälfte des Umfangs der mittleren Schwankung der Reaktionszeit, wie sie der »sensoriellen« Bewegung zukommt. Dieses Ergebnis wird gewiß nicht dadurch beeinträchtigt, daß die Schwankungen bei unseren Reaktionszeiten wesentlich größer sind, als man es bei korrekten Reaktionsversuchen sonst gewöhnt ist. Der Grund für diese Tatsache wird wohl darin liegen, daß die in unserer Versuchsanordnung verlangte Reaktionsbewegung doch eine kompliziertere und ungewohntere war, als das bloße Andrücken bzw. Loslassen eines

Tasters, daß infolge der Art unserer Versuche auf eine so vollkommene Einübung auf die Reaktion, wie sie bei den gewöhnlichen Reaktionsexperimenten üblich ist, verzichtet werden mußte, und daß endlich auch die Zahl der Einzelbeobachtungen[1]) bei uns wesentlich geringer ist, als das sonst notwendig ist. Einige Einzelheiten aus unserer Tabelle scheinen noch besonderer Erwähnung wert.

Bei Versuchsperson Sp., welche sehr wenig Neigung hatte muskulär zu reagieren, wurden besonders motorisch gelungene Reaktionen extra für sich berechnet. Sie zeigten einen entsprechend energischeren Verlauf (vgl. Durchschnittskurve Textfig. 30) und haben auch eine demgemäß kürzere Reaktionszeit und kleinere mittlere Variation wie die übrigen »motorischen« Kurven. Ähnlich steht es mit Vp. Mo, bei welcher ihre energischsten Kurven gesondert verrechnet sind. Bei Vp. J zeigt die Tabelle außer den Zahlen für die motorischen Bewegungen auch solche für die mit »betontem Rückstoß« und für die »gehemmten«. Dabei zeigen die beiden letzteren Rubriken höhere Reaktionszeitwerte als die einfach motorischen. Das würde besagen, daß die Reaktionsbewegungen um so kürzere Reaktionszeiten haben, je weniger kompliziert sie sind, wie das ja der Erwartung entspräche.

Eine andere Frage als die eben behandelte nach dem allgemeinen Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und Bewegungsform ist die individualpsychologische, wie sich denn die einzelnen Personen in dieser Hinsicht verhalten. Wir finden in unserer Zusammenstellung nicht unerhebliche Differenzen der Reaktionszeitwerte für die einzelnen Individuen in den Mitteln sowohl der motorischen wie der sensorischen Reihen. Es wird wichtig sein, danach festzustellen, ob auch individuell ein Parallelismus zwischen Bewegungsform und Reaktionszeit besteht, mit anderen Worten, ob die am schnellsten reagierenden Personen auch nach ihrer Bewegungskurve die am stärksten motorischen sind. Diese Frage soll aber im Zusammenhang mit den anderen individualpsychologischen in dem Abschnitt über die individuellen Differenzen abgehandelt werden.

---

1) Die Zahlen sind in dem Abschnitt über individuelle Unterschiede für die einzelnen Vp. angegeben.

Zusammenfassung der letzten beiden Abschnitte.

Die Form der Bewegung zeigt bei den muskulären und sensoriellen Reaktionen jeweils für die Einstellung charakteristische Besonderheiten. Bei der sensoriellen Reaktion wird die Bewegung in ihrem ganzen Verlauf langsamer und die Form der Kurve flacher. Diese Veränderung der Kurve wird fortschreitend um so ausgesprochener, je mehr von den seelischen Vorgängen bei der Reaktion Auffassungs- und Vorstellungsprozesse sind. Störungsreize rufen oft besondere Eigenarten der Kurve hervor. Dunkel oder unbewußt ablaufende Bewegungen haben niemals extrem motorische Form.

Die einzelne Bewegungskurve ist ein sichereres Kennzeichen der Reaktionsform als die einzelne Reaktionszeit. Bei Durchschnittsberechnungen aus einer größeren Anzahl von Versuchen ist jedoch auch die Reaktionszeit ein genügend sicheres Maß für die Bestimmung der Reaktionsform. Die motorische Durchschnittskurve hat für die einzelnen Personen auch die kürzeste Reaktionszeit und entsprechend die kleinste mittlere Variation derselben. Im allgemeinen haben die Reaktionsbewegungen um so längere Reaktionszeiten, je komplizierter sie werden (auch bei Rückstoßhemmung und -betonung).

4. Die begrenzte Bewegung.

Es sei im Anschluß an die Ausführungen über die Wirksamkeit der Einstellung über einige Versuche über die Wirkung der Bewegungsbegrenzung berichtet. Dieser Bericht kann allerdings nur einen provisorischen Charakter haben, da die angestellten Experimente, gering an Zahl, lediglich als Vorversuche für spätere exaktere Studien gelten sollen.

Über die Kurve, welche den Ablauf begrenzter Bewegungen kennzeichnet, hat wohl nur Woodworth einige Untersuchungen veröffentlicht[1]).

1) Woodworth, Le mouvement (Paris 1903) S. 358 ff.; ders. Psychol. Rev. Monogr. Suppl. 13. p. 55 (1899).

Sein Verfahren bestand darin, daß auf einer horizontalen, rotierenden Trommel mit Hilfe eines in einem Spalt beweglichen Stiftes Linien gezogen wurden; die Bewegung wurde durch eine Marke von vornherein begrenzt. W. ließ mit offenen und geschlossenen Augen Bewegungen von verschiedener Geschwindigkeit machen. Er erhielt auf diese Weise einige sehr beachtenswerte Ergebnisse; allerdings mangelt seinen Versuchen die Berücksichtigung des genaueren zeitlichen Ablaufs, außerdem ist die Bedeutung des Rückstoßes noch nicht erkannt, die gerade, wie z. B. seine Fig. 11 zeigt[1]), bei seinen Experimenten eine Rolle gespielt hat. — Von wesentlicher Bedeutung ist die Unterscheidung, welche Woodworth für begrenzte Bewegungen macht, zwischen dem »accommodement initial« und den »corrections postérieures«. Er weist an seinen Kurven nach, daß bei solchen begrenzten Bewegungen die Hand zunächst den Weg vom Ausgangspunkt nach dem Ziel hin schnell zurücklegt, daß aber gegen das Ende zu die Bewegung verlangsamt und ganz allmählich dem Ziel genähert wird, bis sie an diesem angehalten wird. Diese Besonderheiten der Kurve, des schnellen, flotten Beginns und der Bremsung und Kontrolle sucht W. durch Besonderheiten der Innervation als allgemeiner, abschätzender am Anfang (»accommodement initial«) und bremsender, kontrollierender am Schluß (accommodement oder corrections postérieures) zu erklären. Mit zunehmender Geschwindigkeit soll nach W. die Wirksamkeit der Schlußkontrolle ausgeschaltet werden, es bleibe nur das accommodement initial und damit verliere die Bewegung an Genauigkeit und Sicherheit. Bei geschlossenen Augen soll gleichfalls nur eine Spur der Wirkung von Schlußkorrekturen festzustellen sein, daher auch hier bezüglich der Genauigkeit ein ähnlicher Effekt wie bei schnellen Bewegungen. Da bei diesen letzteren schon an sich nur die Anfangsinnervation bestimmend ist, so zeigen schnelle, begrenzte Bewegungen denselben Grad von Genauigkeit, ob die Augen geöffnet sind oder nicht. Doch bestehen nach W. hinsichtlich des Verhaltens bei Augenschluß individuelle Differenzen.

Ich gebe hier einige Kurven aus den von mir angestellten Versuchen wieder. Die Bewegung durfte nur bis zu einer bestimmten

1) Le Mouvement S. 361.

Marke (Kreidestrich), die auf der Tischplatte, über der sich der Finger bewegte, gezogen wurde, ausgeführt werden. Die Geschwindigkeit der Bewegung war frei gestellt, doch bestand der Auftrag, sofort auf ein Zeichen hin zu bewegen. Das Signal dazu wurde (wie immer nach einem Vorsignal) akustisch gegeben (Glocke) und gleichfalls verzeichnet. Die begrenzte Strecke wurde für die einzelnen Versuchsreihen in wechselnd großer Ausdehnung gewählt (40°, 70° u. a.) Es wurde bei den Versuchen zunächst eine Reihe von Bewegungen mit optischer Kontrolle aufgenommen, dann eine oder mehrere Reihen, bei denen abwechselnd eine Bewegung mit geöffneten, die nächste mit geschlossenen Augen ausgeführt wurde.

Die Tafelfig. 45—47 zeigen begrenzte Bewegungen von zwei verschiedenen Personen. Fig. 45 und 46 stammt von Vp. J, welche bei den Reaktionen mit freien Bewegungen zu extrem motorischen Formen neigte (vgl. Tafelfig. 1 usw. und Durchschnittskurven). Diesen gegenüber sind die begrenzten Kurven nicht nur kürzer (was ja der Vorschrift entspricht), sondern auch weniger steil. Wie die Ausrechnungen zeigen, bleiben sie in der Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit gegen die freien Bewegungen sehr stark zurück. Während Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit bei den freien Bewegungen dieser Vp. im Durchschnitt 39 bzw. 15 betrugen, sind die entsprechenden Zahlen bei den begrenzten 15 bzw. 8. Am nächsten stehen die begrenzten Bewegungen ihrer äußeren Erscheinung nach den »gehemmten« derselben Versuchsperson (vgl. Tafelfig. 16); doch haben auch diese höhere Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeiten (23, bzw. 12 vgl. Textfig. 7 b), als die begrenzten. Wenn wir aber in Betracht ziehen, daß die begrenzte Bewegung durch die Einschränkung ihres Umfanges auch in ihrer Durchschnitts- und Höchstgeschwindigkeit beschränkt werden muß (vgl. die Ausführungen S. 74 ff.), so werden wir nicht zweifeln, die vorliegenden Kurven in ihrer Art den gehemmten zuzureihen. Damit verstehen wir auch den Mechanismus des accommodement initial und der corrections postérieures genauer. Er besteht in nichts anderem als in der Berücksichtigung des Rückstoßvorganges für den vorliegenden Zweck. Der wagerechte Strich über den Spitzen unserer Kurven (Tafelfig. 45 u. 46) bezeichnet den Umfang, welchen die Bewegung hätte erreichen müssen, wenn sie genau an der Marke zum Stillstand gebracht worden wäre. Wie aus den Figuren ersichtlich, ist die Bewegung in beiden Fällen vorher

abgebremst worden, dabei ist der Rückstoß nicht völlig unterdrückt worden, und die Corrections postérieures bestehen darin, die Bewegung bis etwa in die Gegend der Marke hin fortzusetzen. Der Vorgang braucht sich natürlich nicht immer genau so abzuspielen, wie in diesen beiden Kurven, die Bewegung kann z. B. trotz der Bremsung zunächst über das Ziel hinausschießen, so daß rückwärts korrigiert werden muß, oder die Rückstoßhemmung kann unwirksamer sein als in diesen Fällen, so daß die Bewegung zunächst noch weiter zurückschnellt und dann mehr wieder im Sinne der Hinbewegung geführt wird. Gemeinsam aber ist diesen Kurven, daß sie zeigen, daß für die Genauigkeit der Bewegungen nicht nur Momente in Betracht zu ziehen sind, welche mit der Treffsicherheit der Distanzschätzung, sondern auch solche, die mit der Präzision der Bremsungsmechanismen in Zusammenhang stehen; das ist besonders für das Verständnis pathologischer Erscheinungen (Tabes—Ataxie) von Wichtigkeit.

Einen anderen Typus der begrenzten Bewegung zeigt Tafelfig. 47, welche von Vp. Tr stammt. Bei dieser ist der Rückstoß überhaupt vermieden. Nach einem kurzen, als accommodement initial im Sinne eines einheitlichen Impulses zu deutenden gleichmäßigen Anstieg folgt eine ungleichmäßige, langsame Bewegung, wie sie denen entspricht, welche wir später als »dauernd kontrollierte« kennen lernen werden. Ohne Rückstoß kann dann die Bewegung am Schluß abgebremst werden.

Was die Bewegungen mit geschlossenen Augen anlangt, so zeigen sie die Wirksamkeit derselben Mechanismen, wie die mit optischer Kontrolle ausgeführten, nur das die Fehler bezüglich des Anhaltens an der Grenze bei ihnen größer werden als bei den Bewegungen mit offenen Augen.

Tafelfig. 48 und 49 sind Kurven von begrenzten Bewegungen, die unter Augenschluß ausgeführt wurden (Vp. J). Die weiße Marke über den Figuren bezeichnet wieder die Höhe, welche die Kurve hätte haben müssen, wenn die Bewegung genau ausgefallen wäre. Die Figuren zeigen außer der Vergrößerung des Fehlers wiederum die Rücksicht auf den Rückstoß, Kurve 48 Bremsung des Rückstoßes und Weiterführung der Bewegung nach demselben, Fig. 49 Vermei-

dung des Rückstoßes durch Verlangsamung der Bewegung bald nach ihrem Beginn.

Zur weiteren Verdeutlichung dieser Verhältnisse seien noch zwei Geschwindigkeitskurven angefügt. Textfig. 23a ist die Geschwindigkeitskurve zu Tafelfig. 45, Textfig. 23b die entsprechende zu Tafelfig. 49. Textfig. 23a zeigt die starke Rückstoßbremsung (steiler Abfall von der Höchstgeschwindigkeit) und die Weiterführung der Bewegung nach dem trotz der Bremsung erfolgten geringen Rückstoß. Textfig. 23b demonstriert die Vermeidung des Rückstoßes durch Einhaltung geringerer Geschwindigkeiten von Anfang an und Verlangsamung derselben. Die Zahlen: G.-B. zeigen auch die Vergrößerung des Fehlers mit Augenschluß. Die Marke befand sich in einer Exkursionsweite von 40.

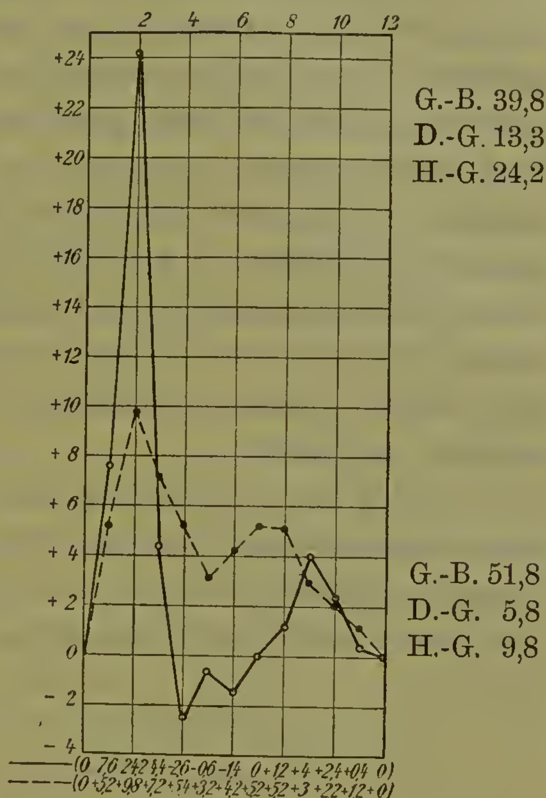


Fig. 23a und b.

—— Geschwindigkeitskurve zu Tafelfig. 45.
Zeit in $^1/_{50}$ Sek.
--- Geschwindigkeitskurve zu Tafelfig. 49.

Die Betrachtung der Kurve der begrenzten Bewegung liefert uns also auch schon nach unseren provisorischen Versuchen einige der Berücksichtigung werte Ergebnisse. Wir unterscheiden in der Kurve mehrere Teile, die durch verschiedene Momente besonders gestaltet werden. Den ersten finden wir durch den allgemeinen Bewegungsentwurf bestimmt, das accommodement initial, das im wesentlichen von Momenten der Schätzung abhängt; in einem zweiten finden wir die Wirksamkeit der Bremsung. Diese beiden Teile sind, wie schon früher dargelegt, untrennbar, insofern, als in dem Beginn der schnellen Bewegung schon die Beziehung auf die Bremsung enthalten ist. Ihnen fügt sich dann als dritter Teil ein Abschnitt nachträglicher Korrektur an. Es kann aber

auch die Bewegung die mit der »elastischen Bremsung« verknüpften Unvollkommenheiten vermeiden, indem sie bald nach ihrem Beginn eine »dauernd kontrollierte« wird; es verschwindet dann die Sonderung in einzelne Teile, und speziell werden dann die Schlußkorrekturen nicht mehr nötig, da die Bewegung in jedem Moment, der passend erscheint, angehalten werden kann. Die Wirkungen des Augenschlusses bedingen keine wesentlichen Änderungen des Mechanismus gegenüber dem Vorgang bei geöffneten Augen; wir finden dieselbe Kurvenform nur mit Vergrößerung des Fehlers. An die Stelle der optischen Kontrolle tritt hier offenbar eine durch Kombination von Schätzung und Gelenk- und Muskelsinnwahrnehmungen bedingte, die in der Bewegungskurve nicht anders wirksam wird, als die optische.

Die Reaktionszeiten der begrenzten Bewegung waren den freien gegenüber stark verlängert (34/100 im Mittel bei Vp. J., 23/100 bei Vp. Tr.), die Verlängerung wuchs mit Augenschluß (50/100 bei Vp. J.).

5. Die individuellen Unterschiede.

Bei der bisherigen Erörterung der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Bewegung mußte fast dauernd auf die großen Unterschiede, welche die einzelnen Personen in ihren Bewegungen unter den gleichen Versuchsbedingungen zeigten, hingewiesen und Rücksicht genommen werden. Diese Unterschiede sind auf den ersten Blick so bedeutend, das ganze Bild der Bewegungen verschiedener Personen ist so mannigfaltig, daß ihm zunächst jede Regel zu fehlen scheint, bis dann die genauere Prüfung die allgemeinen Gesetze aufweist innerhalb und trotz der persönlichen Differenzen. Noch schneller fast als diese allgemeinen Gesetze werden die besonderen Regelmäßigkeiten offenbar, welche die Bewegungsformen der einzelnen Personen in eigenartiger Weise kennzeichnen. Diese Regelmäßigkeiten sind so groß und so konstant, daß sie wohl geeignet wären, Erstaunen hervorzurufen, wenn wir nicht schon aus der Beobachtung des täglichen Lebens und von anderen Erfahrungen der Forschung her in die Beständigkeit der Bewegungseigentümlichkeiten einzelner Menschen

Einblick erhalten hätten. Immerhin ist es bemerkenswert, daß diese Besonderheiten selbst bei den einfachen Bedingungen unserer Versuche in diesem Maße hervortraten. Die Ausführung unserer Experimente erstreckt sich bei einzelnen Versuchspersonen fast über den Zeitraum von zwei Jahren; zwischen den einzelnen Versuchsserien lagen bisweilen Zeiträume von Wochen und Monaten, in denen die betreffende Person nicht zum Versuch herangezogen wurde; trotzdem erhielt man auch noch nach solchen Pausen Kurven, die einander zum Verwechseln ähnlich waren. Man vergleiche z. B. die Kurven Tafelfig. 1, 13 u. 14 der Vp. J., der Tafelfig. 3 u. 31 der Vp. Sp., 2 u. 8 der Vp. Mo., 33 u. 34 der Vp. Kr., Kurven, die von Bewegungen stammen, welche durch beträchtliche Zeiträume voneinander getrennt stattfanden, um die Konstanz der Bewegungseigentümlichkeiten der einzelnen Individuen und die Differenzen zwischen ihnen auf einen Blick zu erfassen. Und so trugen die Bewegungen auch speziellen Versuchsbedingungen in individuell differenzierter Weise Rechnung; so glichen sich nicht nur die motorischen, sondern auch die sensorischen, die gehemmten, die mit betontem Rückstoß usw. bei den einzelnen Personen ungemein und spiegelten die allgemeinen Gesetze des Ablaufs: den Rückstoß, die Bremsung, die Abflachung mit Abnahme der motorischen Einstellung, jedesmal in konstanter, individueller Art.

Es soll deshalb nunmehr in einem eigenen Abschnitt ein Überblick über die einzelnen Bewegungstypen, welche unsere Versuchspersonen darstellen, gegeben werden. Es geschieht dies an der Hand der aus der Verarbeitung des Gesamtmaterials gewonnenen Durchschnittswerte, welche auch schon für die früheren Darlegungen dauernd Grundlage und Kontrolle bildeten. Es sind für diese Werte im ganzen 400 Einzelkurven gemessen und rechnerisch verarbeitet worden. Die Zahl der überhaupt aufgenommenen Kurven beträgt weit über 1000; es wurden jedoch von äußerlich gleich aussehenden Kurven nur etwa jede zweite bis dritte vermessen und verrechnet, um die große Mühe dieser Verarbeitung zu verringern. Auch so haben diese Durchschnittswerte eine weit größere Gewichtigkeit, als der Zahl der verrechneten Einzelkurven zukommt.

Die Durchschnittskurven (Geschwindigkeitskurven) wurden durch Übereinanderlegen der Ordinatenwerte der Einzelkurven und Division durch die Gesamtzahl gewonnen. Da die Kurven nicht alle die

gleiche zeitliche Ausdehnung haben, würde es nicht unbeträchtliche Ungenauigkeiten geben, wollte man die Kurven vom Nullpunkte ab korrespondierend übereinander schalten. Es wäre dann gerade die charakteristische Form des Anstiegs zur Höchstgeschwindigkeit und des Abfalls von derselben leicht verwischt worden. Die Fehler waren vielmehr am geringsten, da ja die Werte der ersten Ordinaten klein und die Meßfehler dort am größten sind, wenn man die Ordinaten der Höchstgeschwindigkeiten übereinander schichtete und die übrigen Ordinaten rechts und links davon, so wie sie aufeinander fielen, addierte (negative Werte ihrem Vorzeichen entsprechend).

Um außer diesen Durchschnittskurven auch noch eine kürzere Charakterisierung der Bewegungsformen zu haben, wurden auch Durchschnittsberechnungen der schon früher öfter zitierten drei wichtigsten Werte der Bewegungskurve (»Testwerte«) des Umfangs der Gesamtbewegung (G.-B.), der höchsten Einzelgeschwindigkeit (H.-G.) und der Durchschnittsgeschwindigkeit (D.-G.) gemacht. Auch diese Werte wurden aus den Zahlen der Einzelkurven gewonnen, nicht etwa der Durchschnittskurve entnommen, und bildeten so auch eine Kontrolle der Genauigkeit dieser. Zugleich haben wir in der mittleren Variation der drei Werte ein gewisses Maß für die Streuung der Einzelkurven.

Sehr brauchbar für den Vergleich der Kurvenformen ist auch die Feststellung ihres »Steilheitsquotienten«. Diesen finden wir, indem wir die Basis der Kurve (d. i. die Dauer der Bewegung) durch die Höhe derselben (d. i. die Höchstgeschwindigkeit) dividieren. Je kleiner der Quotient $\left(\frac{T}{H}\right)$ ist, um so steiler, je größer, um so flacher ist die Kurve. Berücksichtigt ist bei der Aufstellung des Steilheitsquotienten in den folgenden Darlegungen immer nur die Hin- (Beuge-) bewegung. Etwaige negative Vorschläge wurden vernachlässigt, desgleichen im allgemeinen die Rückbewegung.

Ich gebe nunmehr eine Zusammenstellung der Durchschnittskurven der einzelnen Versuchspersonen mit den übrigen aus der Verrechnung gewonnenen Werten, indem ich sie zugleich nach Typen zu ordnen suche. Die Figuren zeigen gewöhnlich auf einer Tafel die motorische und sensorische Durchschnittskurve nebeneinander; bei einzelnen Personen geben besondere Figuren noch speziellere Bewegungsformen.

α) Extrem motorische Bewegungstypen.

1. Vp. J. (Textfig. 24).

Die Versuchsperson (Autor) neigt subjektiv durchaus zu extrem muskulärer Einstellung. Zu genauerer Betrachtung des Reizes mußte sie sich besonders zwingen, sie zeigte oft vorzeitige Reaktionen und bei den Kontrollversuchen zahlreiche Fehler. In den Serien, in welchen es gelang solche zu vermeiden, erhielten dann die »sensoriellen« Reaktionsbewegungen eine von der motorischen sehr abweichende Form (vgl. die Einzelkurven Tafelfig. 1 u. 30). Die aus 24 Einzelkurven berechnete motorische Durchschnittskurve Textfig. 24 (gestrichelt) zeigt nach einer kurzen negativen Vorbewegung (Ausholbewegung), wie sie dieser Person eigentümlich ist, einen sehr schnellen und steilen Anstieg zu einer extrem hohen Höchstgeschwindigkeit. Diese fällt sogleich sehr steil ab, und die Kurve geht, ohne daß die Geschwindigkeit vorher völlig hat abgebremst werden können (vgl. die Ausführungen S. 55ff.), bereits im übernächsten Zeitteil in den kräftigen Rückstoß über. Ein ganz anderes Bild bietet die sensorische Durchschnittskurve (aus 17 Einzelkurven). Auf einen ganz langsamen Anstieg zu einer kleinen Höchstgeschwindigkeit folgt ein noch langsamerer Abfall von derselben, der nach einer längeren Pause ohne Rückstoß sehr allmählich in einer Rückbewegung die Anfangsstellung wieder gewinnt.

Die Testwerte betragen in ihren Mitteln und mittleren Variationen:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	75,3	5,1	14,9	5,3	39,3	5,0
sensor.	44 2	8,3	4.0	1,7	10,0	3,7

Entsprechend der Kurvenform sind also auch Gesamtbewegung und Durchschnittsgeschwindigkeit der sensoriellen Kurven viel kleiner als die der motorischen.

Die Reaktionszeiten betragen für die motorischen im Durchschnitt 18/100 (M. V. 4/100), für die sensorischen 41/100 (M. V. 5/100. Der Steilheitsquotient beträgt für die motorischen Bewegungen 0,13, für

die sensorischen 1,8, also ein sehr bedeutender Unterschied im Sinne der Verflachung.

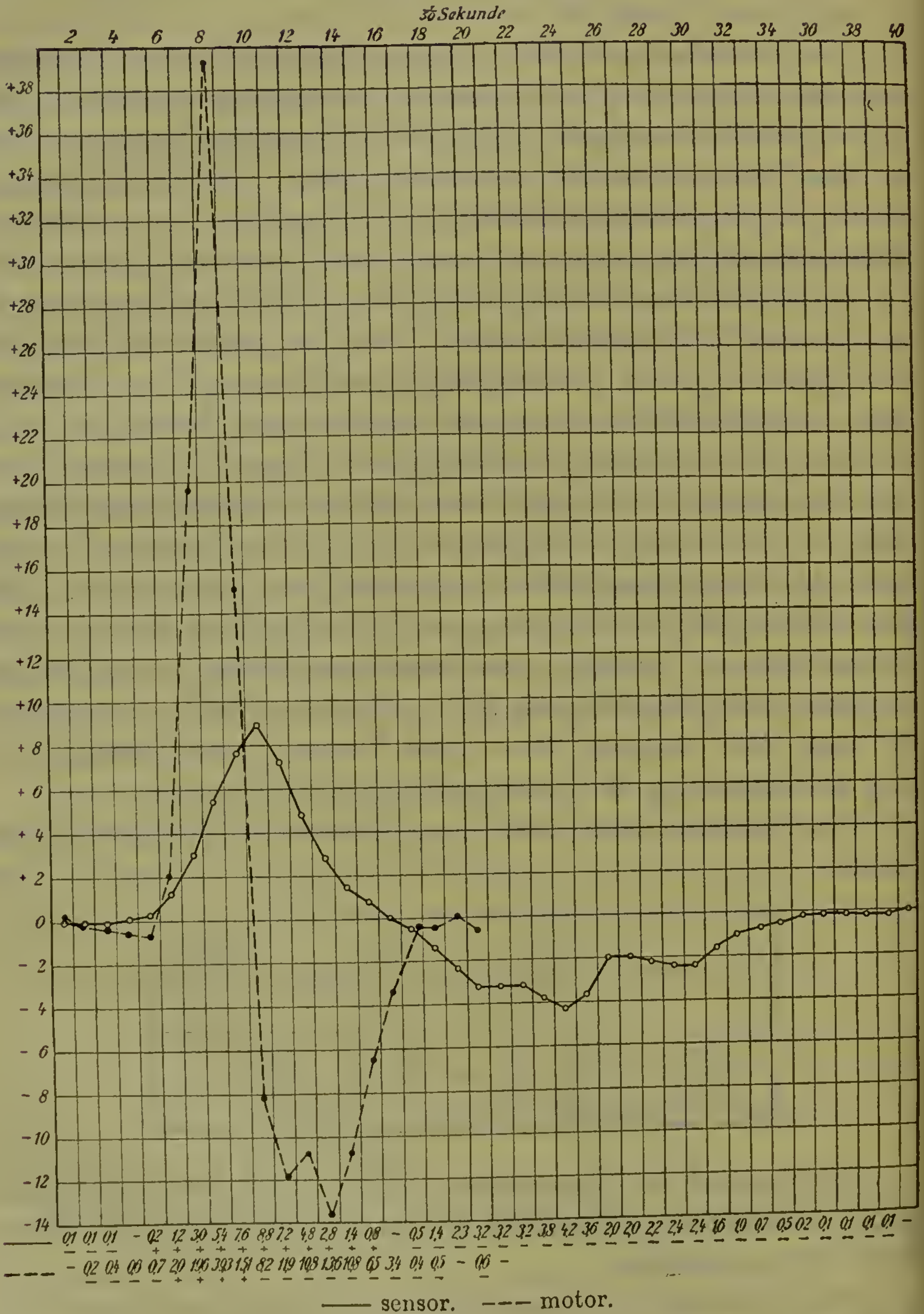
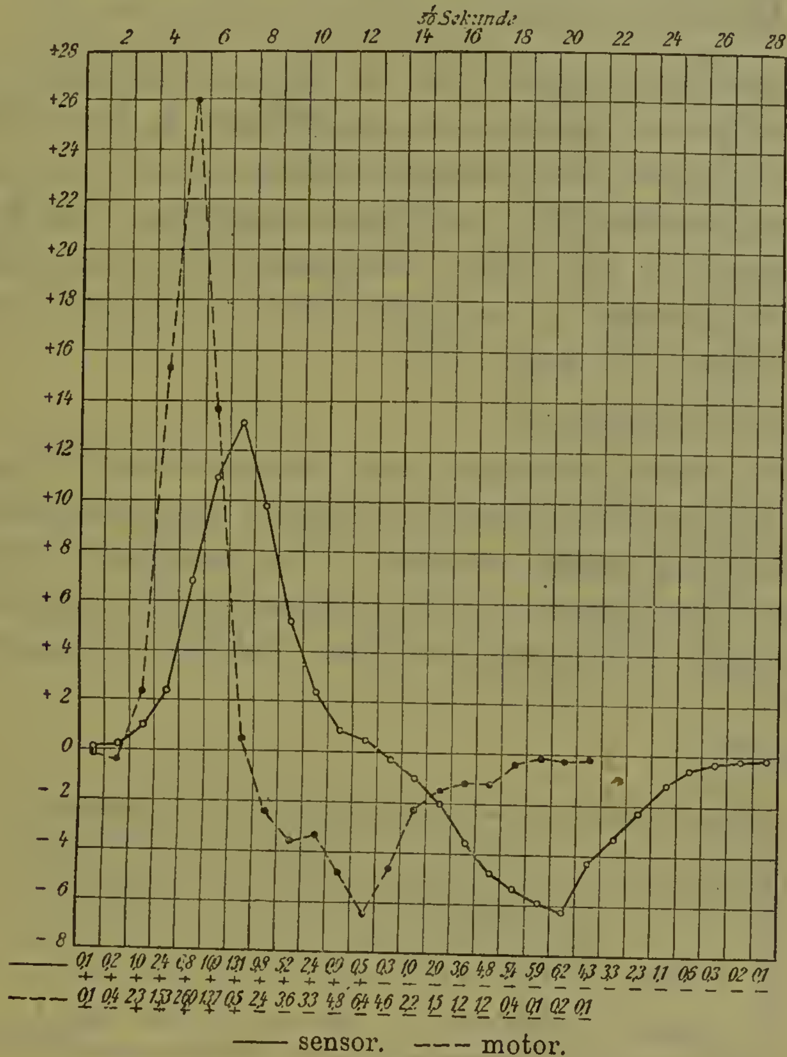


Fig. 24.

2. Vp. Rü. (Textfig. 25).

Auch bei dieser Versuchsperson bildet ein kleiner negativer Vorschlag in der Regel die Einleitung in die motorische Bewegung. Die Kurve steigt schnell zu beträchtlicher Höhe an und fällt ebenso schnell ab; der größte Teil der Geschwindigkeit ist schon vor dem



—— sensor. ––– motor.

Fig. 25.

Vp. Rü. Sensorisch. und motorisch.

Eintritt der Rückstoßbewegung abgebremst, diese dementsprechend weniger energisch als bei Vp. J. Die »sensorische Kurve« ist sehr viel flacher in ihrem An- und Abstieg, die erreichte höchste Einzelgeschwindigkeit halb so groß als bei der motorischen Kurve. Die Rückbewegung schließt sich in langsamer Entwicklung und ohne Rückstoß an die Hinbewegung an. Die Testwerte betragen (Zahl der motor. Kurven 8, der sensor. 10):

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	58,3	5,7	12,0	1,3	26,0	4,6
sensor.	53,6	5,7	5,0	0,8	13,1	2,3

Wie diese Werte zeigen, liegt bei Rü. der Unterschied zwischen den sensoriellen und motorischen hauptsächlich in der Verlaufsform der Bewegungskurve; der Bewegungsumfang ist bei den motorischen Bewegungen nicht viel größer als bei den sensoriellen. Die Reaktionszeiten betragen für die motor. Bewegungen M. = 21/100, M. V. = 1/100, für die sensor.: M. = 48/100, M. V. = 13/100. — Steilheitsquotienten motor. 0,2, sensor. 0,9.

3. Vp. Al. (Textfig. 26).

Ziemlich schnell ansteigende und ähnlich abfallende motorische Kurve mit mittelgroßer Höchstgeschwindigkeit und großem Bewegungsumfang, Rückstoß mäßig energisch. Die sensorische Kurve zeigt wieder allgemeine Abflachung und Aufhebung des Rückstoßes. Starke Herabsetzung der Höchstgeschwindigkeit. Zahl der Kurven: sensor. 4, motor. 17. —

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	77,6	5,2	10,1	1,3	25,0	2,5
sensor.	62,4	5,1	6,0	2,4	15,0	3,8

Reaktionszeit: motor. M. = 22/100, M. V. = 6/100; sensor. M. = 65/100. Steilheitsquotienten motor. 0,26, sensor. 0,8.

4. Vp. Tr. (Textfig. 27).

Bei der motorischen Kurve kurzer negativer Vorschlag, ziemlich steiler An- und Abstieg, hohe Höchstgeschwindigkeit, Rückstoß; gleichmäßige Herabsetzung der Werte für diese Faktoren bei der sensorischen Kurve, ebenso für den Umfang der Gesamtbewegung. Zahl der Einzelkurven: sensor. 4, motor. 13.

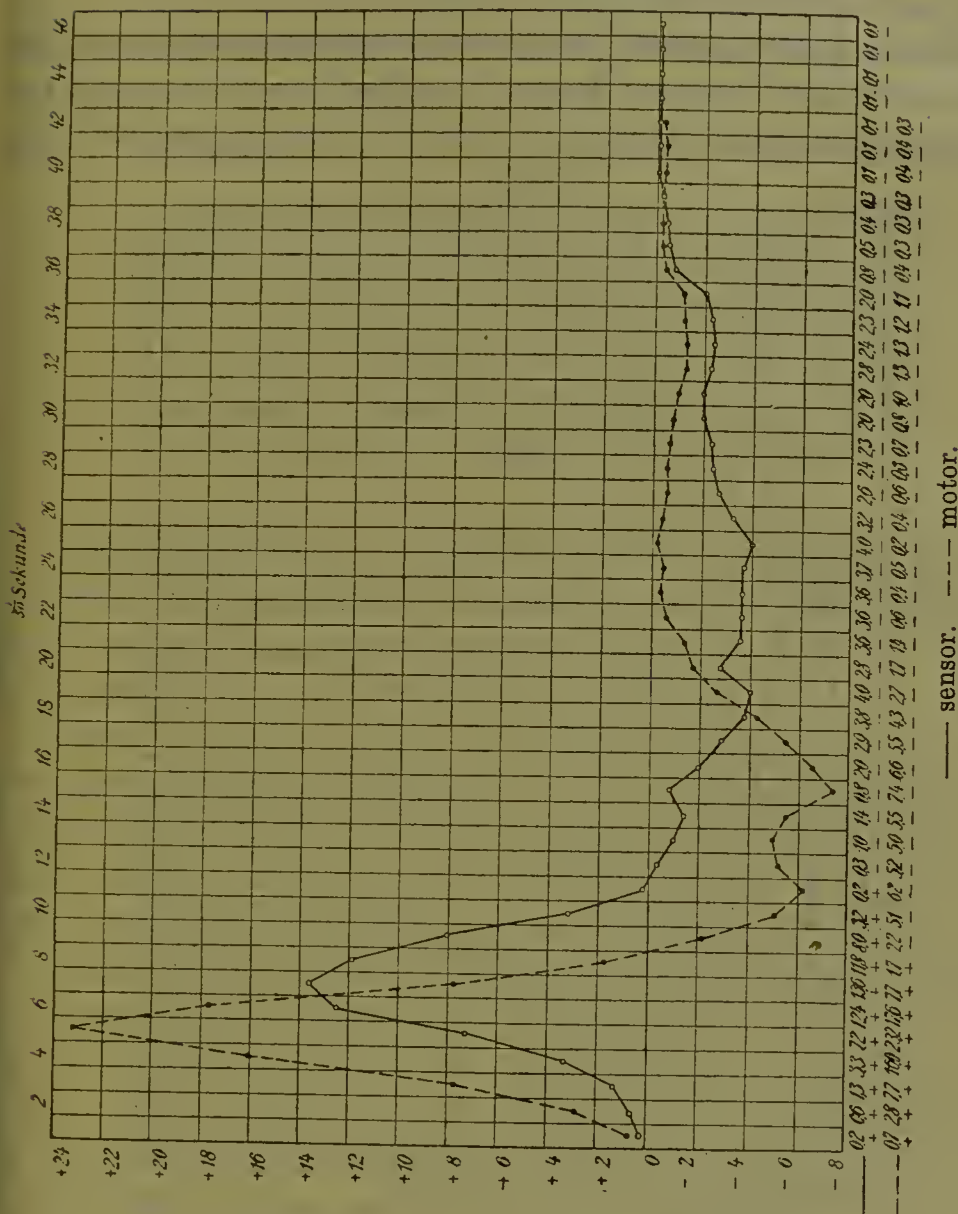


Fig. 26.

Vp. Al. Sensorisch und motorisch.

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	68,6	11,9	13,4	5,3	27,3	6,6
sensor.	46,8	7,8	8,5	2,9	15,1	2,5

Reaktionszeit: motor. M. = 13/100, M. V. = 1/100, sensor. M. = 13/100. Steilheitsquotienten: motor. 0,2, sensor. 0,5.

5. Vp. Pl. (Textfig. 28).

Bei dieser Versuchsperson ist der im Verhältnis zu der mittleren Steilheit der Kurve langsame Beginn derselben bemerkenswert. Die Rückbewegung ist durch Rückstoß an die Hinbewegung gebunden und

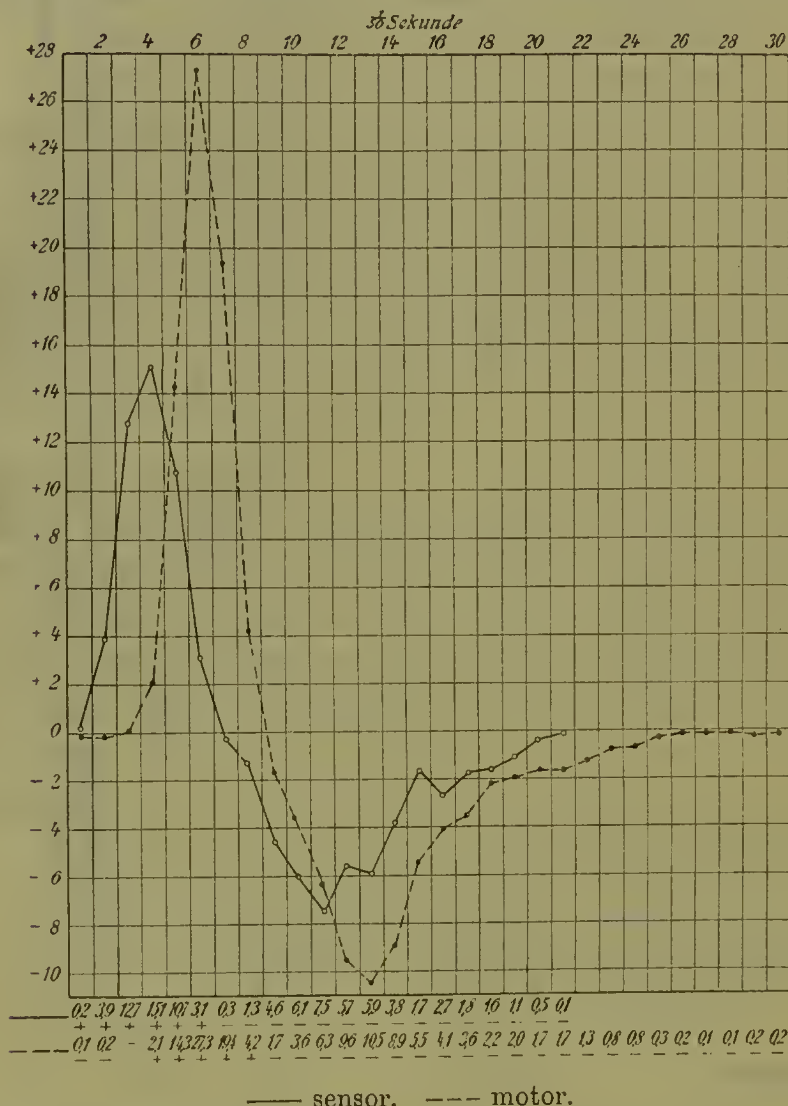


Fig. 27.

Vp. Tr. Sensorisch und motorisch.

umfangreich. Sie ist in relativ beträchtlichem Maß auch bei der sensorischen Kurve vorhanden, hier wohl bedingt durch den geringen Umfang der Bewegung. Die Abflachung der sensorischen Kurve gegenüber der motorischen ist nicht bedeutend, es handelt sich mehr um Verkürzung der sensorischen Kurve als um Verflachung. Das zeigt unsere Figur, bei der die Kurven einander fast parallel gehen,

ebenso wie die Werte der Steilheitsquotienten. Diese sind nämlich fast gleich: motor. 0,4, sensor. 0,5. Zahl der Kurven sensor. 5, motor. 11.

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	70.0	13,1	8,3	1,9	21,7	4,1
sensor.	31,2	7,0	4,7	0,7	10,7	2,5

Die Herabsetzung der Zahlen bei der sensorischen Kurve ist durchweg sehr beträchtlich, besonders groß die Verminderung des Bewegungsumfanges. Reaktionszeiten: motor. M. = 17/100, M. V. = 3/100; sensor. M. = 46/100, M. V. = 24/100.

Fassen wir die an den Durchschnittskurven dieser Personen hervortretenden Züge zusammen, so finden wir allen gemeinsam die Zeichen der Entfaltung einer beträchtlichen Bewegungsenergie. Als solche Zeichen betrachten wir: die Steilheit der Kurvenform, die Höhe der Höchst- wie der Durchschnittsgeschwindigkeit, damit parallel die Kürze der Gesamtdauer, das Auftreten des Rückstoßes, schließlich auch den Umfang der Bewegung. Diesen letzteren müssen wir freilich als das unsicherste Zeichen der Bewegungsenergie betrachten. Wir wissen, daß der Umfang nur im allgemeinen mit der Geschwindigkeit der Bewegung wächst, daß aber keine genaue Proportionalität zwischen diesen beiden Größen herrscht, und daß Ausnahmen in dieser Hinsicht bestehen, vor allem durch entsprechende Intention bedingt[1]. Immerhin können wir aber an diesen unseren energischsten und schnellsten motorischen Kurven feststellen, daß die meisten von ihnen einen Bewegungsumfang von 70 und mehr erreichen und die am wenigsten umfangreiche immerhin noch eine Exkursion von etwa 60.

Was den Rückstoß anlangt, so müssen wir darauf verzichten, irgend eine Skala zu gebrauchen, welche die Grade der Energie und Schnelligkeit seines Ablaufs zum Gegenstande hätte. Ein solches

1) Vgl. vorher S. 68ff.

Unternehmen wurde dadurch hinfällig, daß wir, wie schon dargelegt, im Verlaufe der Rückbewegung Effekte von Innervationen des eigentlichen Rückstoßes und solchen, die ihn weiter verwerten und »betonen«, nicht voneinander trennen können. Wir dürften, wollten wir irgendwie von Stufen der Energie des Rückstoßes reden, nur die ersten Momente der Rückbewegung hierfür verwerten. Denn, wenn wir auch annehmen können, daß der durch den Rückstoß bedingte Beginn einer Rückbewegung in jedem Fall auf den Verlauf dieser in ihrer Gesamtheit von Einfluß sein muß, so sind wir doch noch so wenig imstande, die verschiedenen Momente, die wirksam sein können, voneinander zu sondern, daß wir darauf verzichten müssen, etwa aus der Form der Rückbewegung genauere Kriterien zur Charakterisierung des Rückstoßes zu gewinnen. Wir haben uns deswegen damit begnügt, nach der bloß allgemeinen Betrachtung des Beginns und der Form der Rückbewegung von einem energischen oder weniger kräftigen Rückstoß zu sprechen.

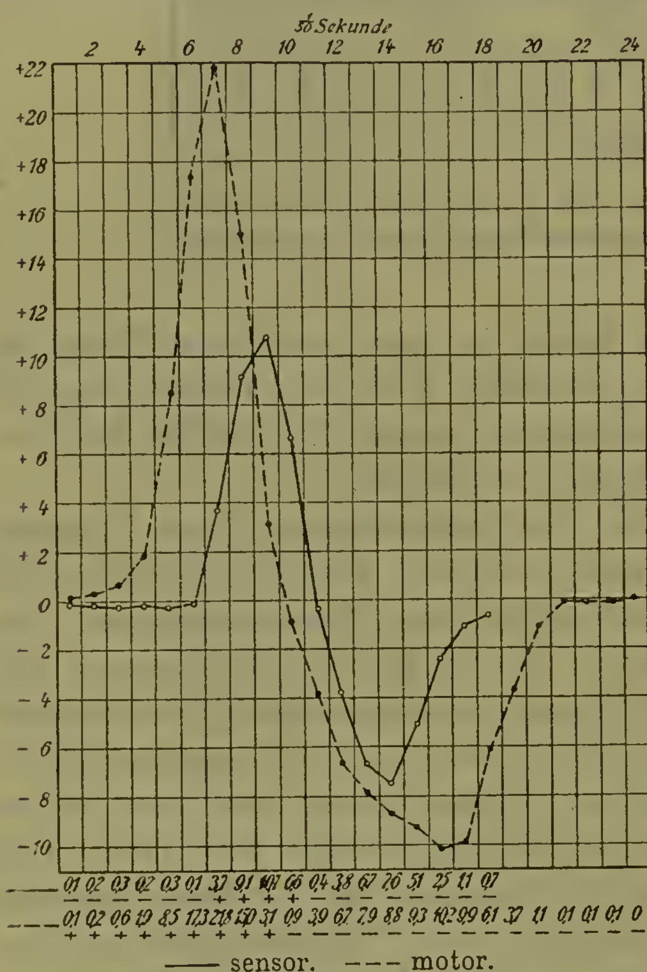


Fig. 28.

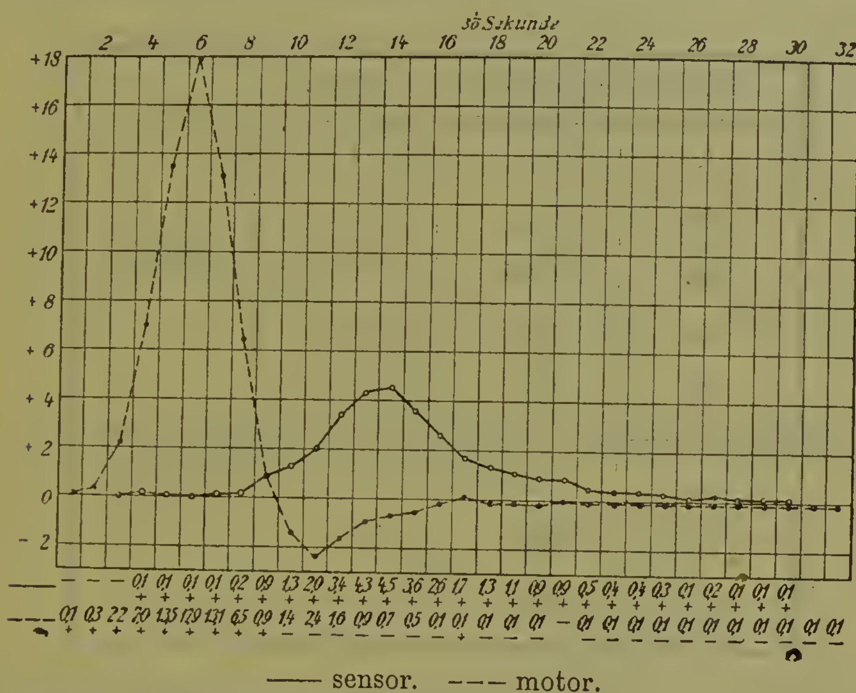
Vp. Pl. Sensorisch und motorisch.

Hinsichtlich des gegenseitigen Verhältnisses zwischen den motorischen und sensorischen Kurven bei derselben Versuchsperson können weitere individualpsychologische Gesetzmäßigkeiten nicht mit Sicherheit angegeben werden. Fest steht die allgemeine Regel, daß bei der einzelnen Versuchsperson die sensorische Kurve weniger energisch ausfällt als die motorische.

β. Personen mit wenig energischem Bewegungsablauf.

6. Vp. Sp. (Textfig. 29, 30).

Die Versuchsperson neigte nach ihren Angaben in ausgesprochener Weise zu sensorieller Reaktionsart; sie wurde bei dem Reaktionsvorgang vorwiegend durch den Eindruck gefesselt und mußte sich zu motorischer Einstellung besonders zwingen. Dementsprechend zeigen die Kurven ein von dem der bisher behandelten sehr verschiedenes Bild.



—— sensor. ——— motor.

Fig. 29.

Vp. Sp. Sensorisch und motorisch.

Einzelkurven motorischer Bewegungen dieser Versuchsperson bieten die Tafelfig. 3 und 31, welche gewiß in einem sehr auffallenden Kontrast stehen etwa zu denen der Vp. J. (Tafelfig. 1, 13, 14). Die Durchschnittskurven Textfig. 29, 30 demonstrieren uns die Arten dieser Unterschiede genauer an den aus der Verarbeitung eines größeren Materials (Zahl der motorischen Kurven 39, der sensorischen 13) gewonnenen Daten. Die Durchschnittswerte der motorischen Bewegungen ergeben eine Kurve, die sich wie ein Miniaturbild ausnimmt gegenüber der entsprechenden Kurve der Vp. J. Dabei ist die Kurve, welche auch einen mäßigen Rückstoß zeigt, nicht abgeflacht in dem Maße, wie es die sensorische Kurve dieser und anderer Versuchspersonen, wie auch

von Sp. selbst ist. Die Basis der Kurve ist nicht so verlängert (d. h. die Gesamtdauer der Bewegung nicht so vermehrt) wie es den sensoriellen Kurven im allgemeinen entspricht. Ein gutes Bild dieser Verhältnisse gibt eine Zusammenstellung der Steilheitsquotienten, welche die folgende Tabelle zugleich für die nächsten Versuchspersonen dieser Gruppe gibt.

Steilheitsquotienten $\left(\frac{T}{H} = \frac{\text{Gesamtdauer}}{\text{Höchstgeschwindigkeit}}\right)$

Vp.	motor.	sensor.	
J.	0,13	1,8	Gruppe α
Rü.	0,2	0,9	
Al.	0,26	0,8	
Tr.	0,2	0,5	
Pl.	0,4	0,5	
Sp.	0,5	5	Gruppe β
Mo.	0,5	1	
Ho.	0,4	0,5	

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, daß die motorische Durchschnittskurve der Vp. Sp. wohl einen größeren Steilheitsquotienten hat, als ihn die Personen der Gruppe α besitzen, daß aber dieser Quotient doch hinter der Größe des Steilheitsquotienten der Mehrzahl der sensorischen Kurven dieser Gruppe (α) wesentlich zurückbleibt. Das heißt also, daß die motorische Kurve von Sp. mehr durch eine allgemeine Herabsetzung der einzelnen Ordinaten charakterisiert ist, als durch eine Veränderung der Steilheit, welche nicht nur eine Verkleinerung der in den einzelnen Zeitteilen zurückgelegten Wege, sondern auch eine stärkere Verschiebung der Größenverhältnisse zueinander und vor allem eine größere Verlängerung der Gesamtdauer in sich schließen würde.

In welchem Maße eine solche Veränderung im Sinne der Abflachung eintreten kann, das zeigt uns die sensorische Kurve der

Vp. Sp., welche für den Steilheitsquotienten den enormen Wert von 5, den höchsten in unseren Versuchen überhaupt vorhandenen, erreicht. Dementsprechend zeigt auch die entsprechende Kurve das

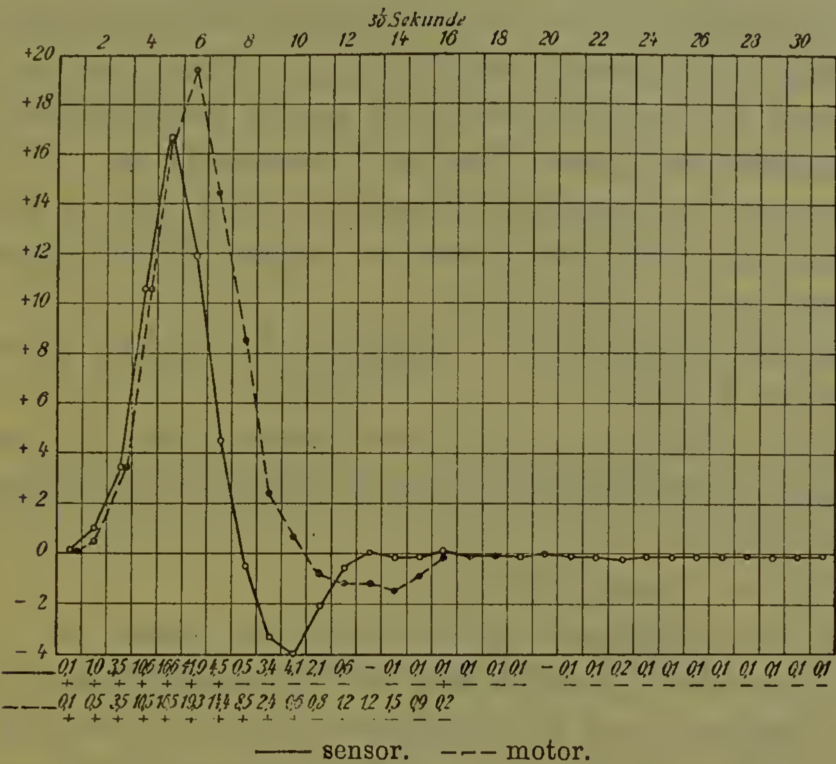


Fig. 30.

Vp. Sp. Motorisch und motorisch energisch.

Bild extremer Abflachung infolge der Verlängerung der Basis (Gesamtdauer) und Verkleinerung der einzelnen Ordinaten (Höchstgeschwindigkeit nur etwa 5). Ein Rückstoß ist nicht vorhanden.

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	61,2	9,8	7,1	2,4	17,8	3,2
sensor.	31,9	2,6	1,5	0,4	5	0,9
mot. energ.	76,6	10,2	8,7	1,9	19,3	2,6

In der letzten Kolumne der vorstehenden Zusammenstellung sind unter dem Titel »motorisch energisch« die Werte für eine Reihe von Kurven (im ganzen 8) zusammengestellt, welche nach den Angaben der Versuchsperson und der Form des Bewegungsablaufs die höchsten

Grade der motorischen Einstellung, die dieser Versuchsperson, bei dem Stande der Übung unserer Versuche wenigstens, möglich war, darstellen. Die größere Energieentfaltung äußert sich, wie aus den Zahlen hervorgeht, in einer Erhöhung der Höchstgeschwindigkeit und Vermehrung der Exkursionsweite (»G.-B.«). Die Form der Kurve ist sonst fast gar nicht verändert, wie aus der Zusammenstellung der beiden motorischen Kurven (Textfig. 30) ersichtlich ist. Die Kurven laufen einander fast parallel. Dementsprechend wird es nicht auffallen, daß der Steilheitsquotient in beiden Fällen identisch ist, nämlich 0,5.

Reaktionszeit: motor. M. = 18/100, M. V. = 5/100, sensor. M. = 62/100, M. V. 30/100.

Daß die motorisch energischsten Kurven auch die kürzesten Reaktionszeiten haben (M. 15/100, M. V. 3/100), ist schon früher dargetan worden.

7. Vp. Mo. (Textfig. 31, 32).

(Zahl der verrechneten Kurven motor. 57, sensor. 24.)

Die motorische Kurve ist, wie bei der vorhergehenden Versuchsperson, auffallend durch die Kleinheit der Werte, sie ist aber gleichfalls nicht flach (Quotient 0,5) und hat Rückstoß. Die sensorische ist gegenüber der motorischen abgeflacht, jedoch nicht entfernt so wie bei Vp. Sp. (Quotient von Mo. nur 1,0) und zeigt auch im Unterschiede von Sp. noch Rückstoß. Auch bei dieser Versuchsperson sind die energischsten Kurven (15 an der Zahl) nochmals für sich verrechnet. Ihre Kurve zeigt, wie Textfig. 32 verdeutlicht, höhere Werte als die einfach motorische, ist aber sonst dieser ziemlich parallel. (Steilheitsquotient gleichfalls 0,5.)

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	46	5,5	7,0	1,7	16,4	1,1
sensor.	29	4,9	5,6	1,5	9,0	2,2
mot. energ.	56	6,8	10,0	1,8	17,0	1,9

Reaktionszeit: motor. M. = 25/100, M. V. = 10/100; sensor. M. = 44/100, M. V. = 11/100; motor. energ. M. = 19/100, M. V. = 8/100.

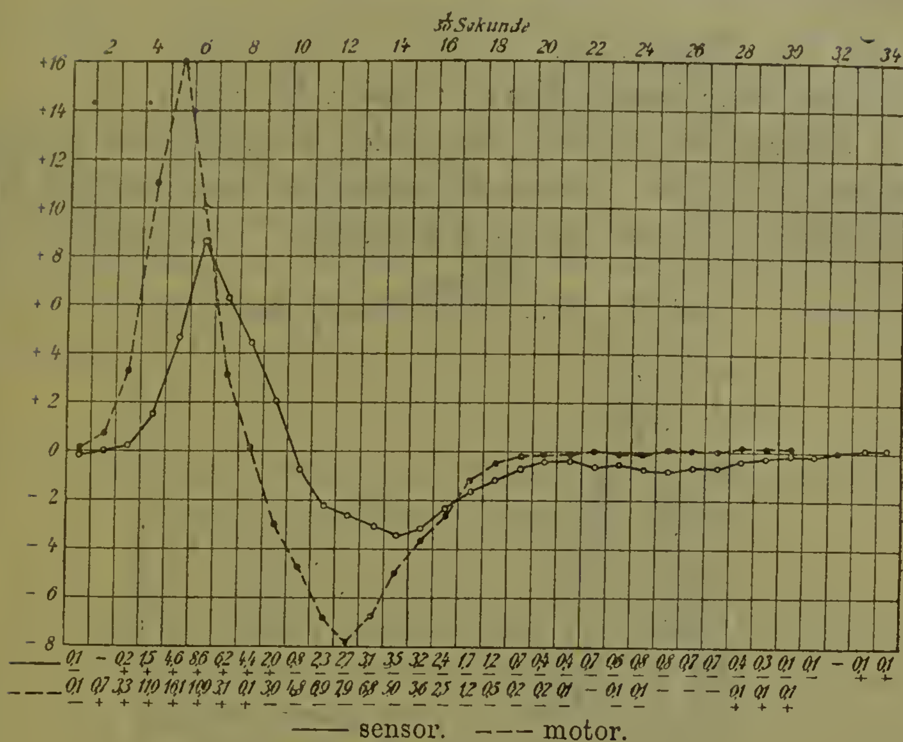


Fig. 31.

Vp. Mo. Sensorisch und motorisch überhaupt.

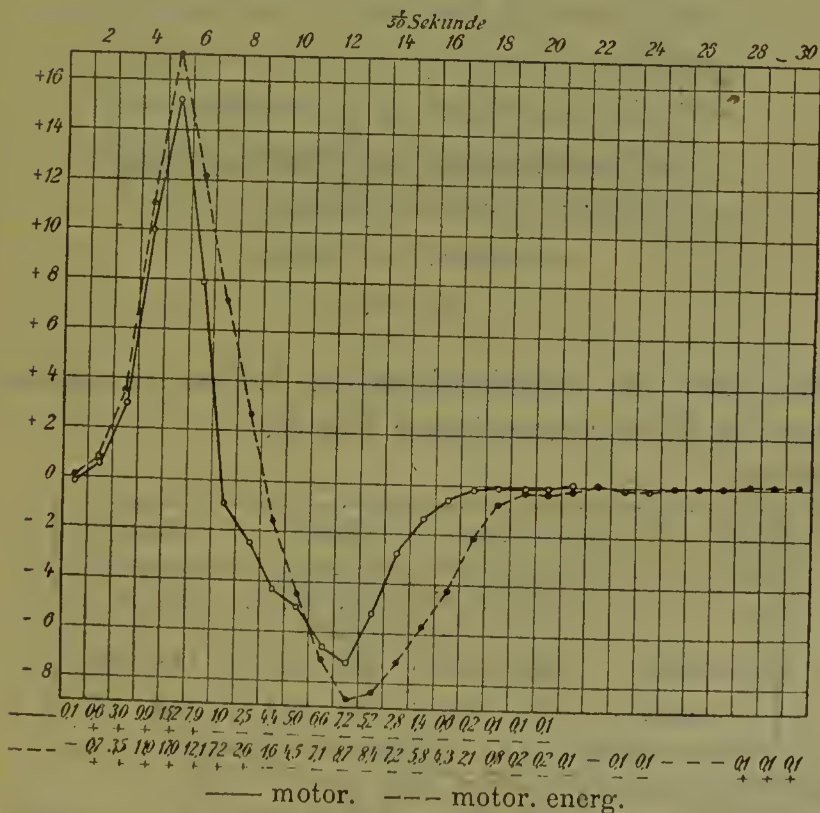


Fig. 32.

Vp. Mo. Motorisch und motorisch energisch.

8. Vp. Ho. (Textfig. 33).

Zahl der verrechneten Kurven: motor. 16, sensor. 10.

Der Unterschied zwischen den beiden Kurvenformen ist gering. Die motorische zeigt der sensorischen gegenüber etwas größere Werte, ist etwas steiler und hat stärkeren Rückstoß. Aber auch bei ihr ist

—— sensor. ––– motor.

Fig. 33.

die absolute Höhe der charakteristischen Zahlen sehr gering, es ist eine Kurve von kleiner motorischer Energie.

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	48,2	5,3	8	1,4	14,6	2,4
sensor.	45	7,1	7,5	1,1	12,7	1,7

Steilheitsquotienten: motor. 0,4, sensor. 0,5.

Reaktionszeiten: motor. M. = 22/100, M. V. = 5/100; sensor. M. = 26/100, M. V. 7/100.

In der Art, wie sich die motorische Durchschnittskurve zur sensorischen verhält, ähneln die Kurven der Vp. Ho. am meisten den von Vp. Pl., mit welcher sie auch identische Steilheitsquotienten hat. Wenn wir trotzdem Pl. unter die Gruppe α, Ho unter Gruppe β rubrizieren, so bewog dazu, daß für die Beurteilung der Bewegungsenergie nicht nur die Form der Kurve und der Steilheitsquotient maßgebend ist, sondern auch die absoluten Werte. Diese sind aber bei der motorischen Kurve von Pl. sehr wesentlich höher als bei Ho.

γ. Personen mit mittlerer motorischer Einstellung und Besonderheiten der Kurvenform.

9. Vp. Kr. Textfig. 34 (motor. 16 Kurven, sensor. 7).

Die Kurven dieser Versuchsperson verdienen besondere Beachtung wegen ihres Verhältnisses zum Rückstoß. Einzelkurven der Vp. sind in den Tafelfiguren 33—36 wiedergegeben. Bei den motorischen Kurven fällt ohne weiteres auf die Geringfügigkeit des Rückstoßes trotz der nicht unbeträchtlichen Steilheit der Kurve. Die Kurven ähneln denen, welche wir früher als gehemmte kennen gelernt haben, obwohl hier keine Instruktion bestand zu hemmen. Die motorische Durchschnittskurve zeigt dementsprechend eine (nach einem negativen Vorschlag) ziemlich steil ansteigende und ebenso abfallende Kurve mit nicht unbeträchtlichen absoluten Werten. Trotzdem findet nur eine sehr geringe Rückbewegung statt. Würden wir die Beschleunigungskurve konstruieren, so würden wir sehr beträchtliche negative Werte vor dem Moment des Rückstoßes erhalten, welche die Höchstgeschwindigkeit vor dem Eintritt der Rückbewegung fast völlig aufgehoben haben; eine Tatsache, welche wir früher bei der Diskussion der Rückstoßbremsung näher erörtert haben. Dieses Verhalten gegenüber dem Rückstoß zeigte die Vp. dauernd in allen durch viele Monate getrennten Versuchsserien. Es wurden zur weiteren Prüfung dieser Eigenschaft mit ihr eigens Versuche angestellt, in welchen sie aufgefordert wurde, den Rückstoß zustande kommen und den Finger zurückfedern zu lassen. Diese Aufgabe gelang der Vp. nicht ohne weiteres, sie gab an, daß ihr diese Art des Verhaltens nicht liege, und objektiv zeigten die Kurven gewöhnlich

gar keinen Rückstoß, sondern eine erst nach längerer Pause stattfindende Rückbewegung. Erst nach einiger Übung kamen Kurven zustande, wie sie Tafelfig. 50 zeigt. Aber auch bei diesen haben wir es mit der Weiterführung eines sehr wenig energischen Rückstoßes zu tun.

Hinsichtlich des sonstigen Verhaltens dieser Vp. ist zu bemerken, daß sie nach ihren Angaben mehr zu sensorieller als zu motorischer

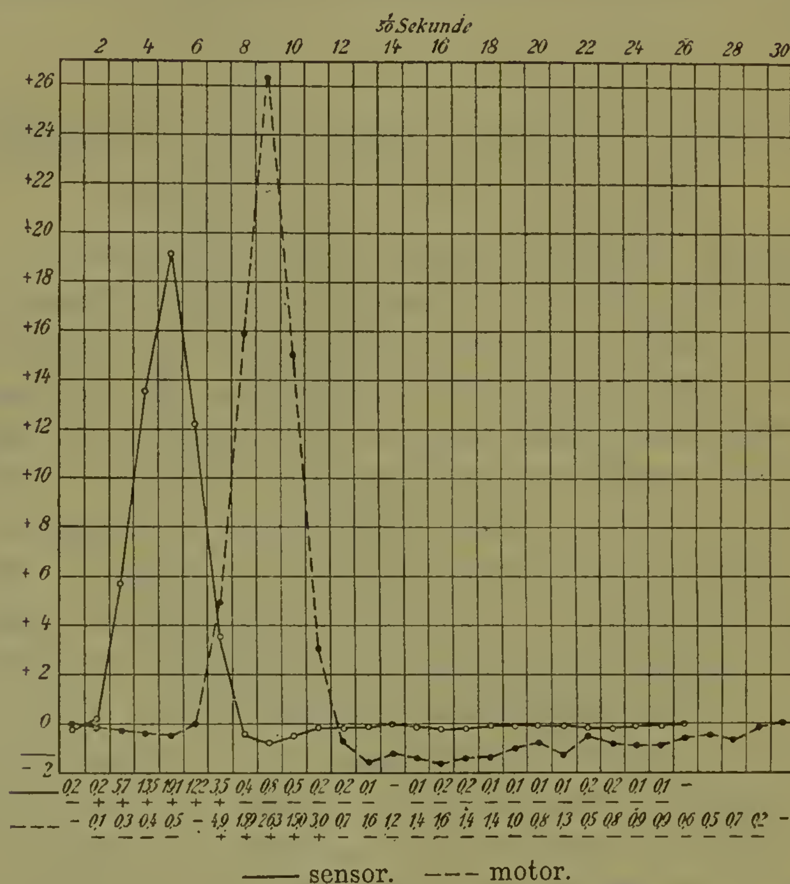


Fig. 34.

Vp. Kr. Sensorisch und motorisch.

Einstellung neigte. Gleichwohl zeigen ihre motorischen Kurven eine nicht unbeträchtliche Energieentwicklung, allerdings zugleich mit der eben erörterten unwillkürlichen Hemmung. — Die sensorische Kurve ist gegenüber der motorischen abgeflacht und zeigt geringere absolute Werte. Steilheitsquotienten: motorisch 0,2; sensorisch 0,4.

Testwerte:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	64,6	4,0	12,0	2,2	26,3	1,5
sensor.	54,3	5,4	9,0	0,6	19,1	1,6

Die Zahlen stehen denen nahe, welche wir in Gruppe α gefunden haben; die Unterschiede der Werte für die sensorischen und motorischen Kurven sind deutlich, aber nicht sehr beträchtlich.

Reaktionszeiten: motor. = 24/100, M. V. = 5/100; sensor. M = 68/100, M. V. = 23/100.

10. Vp. We. (Zahl der Kurven motor. 17, sensor. 9):

Die Durchschnittskurve dieser Vp. (Textfig. 35) hat Ähnlichkeit mit der der vorigen, insofern auch sie trotz ziemlicher Steilheit und Höhe der absoluten Werte einen nur schwachen Rückstoß zeigt. Sie unterscheidet sich von der vorigen dadurch, daß der Rückstoß eine ausgiebigere, sehr langsame Bewegung einleitet. Die sensorische Kurve ist der motorischen gegenüber sehr wesentlich flacher. Steilheitsquotienten: motor. 3, sensor. 0,9.

Testzahlen:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	71,0	6,0	11,0	3,0	23,5	2,6
sensor.	61,1	4,8	6,3	0,9	11,8	1,8

Reaktionszeiten: motor. M. = 24/100, M. V. = 4/100, sensor. M. = 61/100, M. V. = 15/100.

11. Vp. Pa. (Zahl der Kurven motor. 8, sensor. 7).

Einzelkurven dieser Vp. geben die Tafelfig. 37, 38. Die Durchschnittsfigur (Textfig. 36) zeigt eine Geschwindigkeitskurve von mittlerer motorischer Energie; die Form ist ziemlich steil, die charakteristischen Werte in mäßigen Höhen. Es findet kein Rückstoß statt

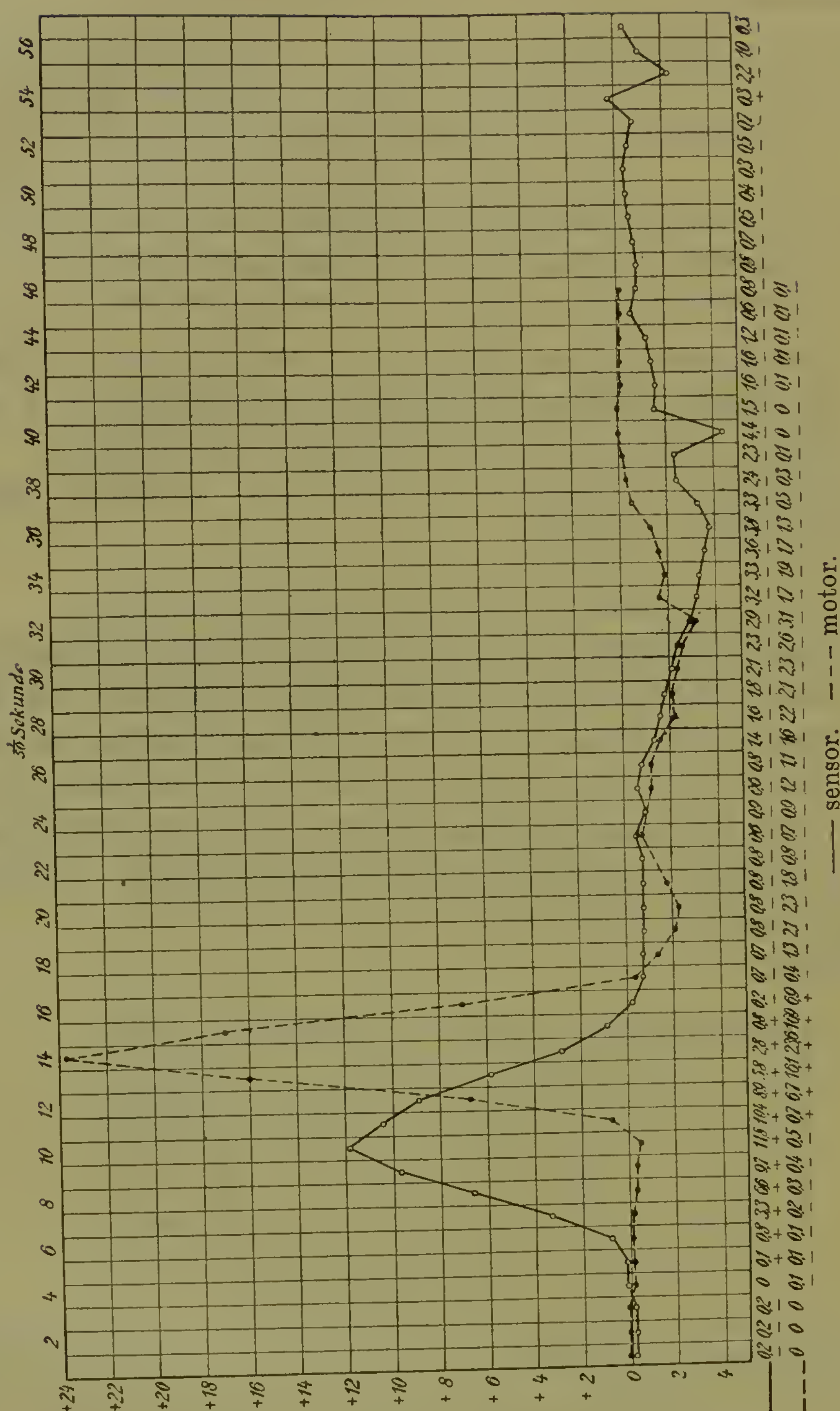


Fig. 35.

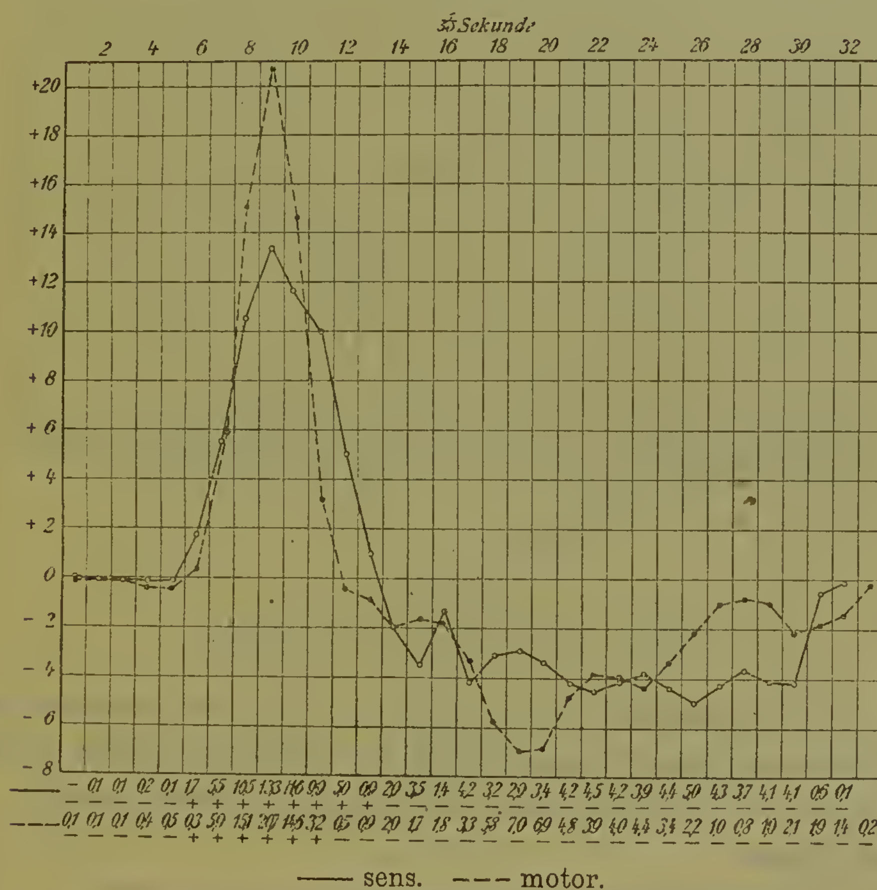
Vp. We. Sensorisch und motorisch.

(vgl. Einzelkurven), sondern es erfolgt nach längerer Zeit eine selbständige, langsame Rückbewegung. Die sensorische Kurve ist wesentlich flacher und zeigt beträchtlich kleinere absolute Werte. Steilheitsquotienten: motor. 0,3, sensor. 0,6.

Testzahlen:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	61,4	4,6	10	2,9	20,7	2,3
sensor.	60,0	7,3	7,0	2,2	13,3	2,8

Wie aus der Tabelle hervorgeht, unterscheiden sich die sensorischen Kurven von den motorischen vor allem durch die Herabsetzung des Wertes der Höchstgeschwindigkeit, außerdem noch (wie



—— sens. - - - motor.

Fig. 36.

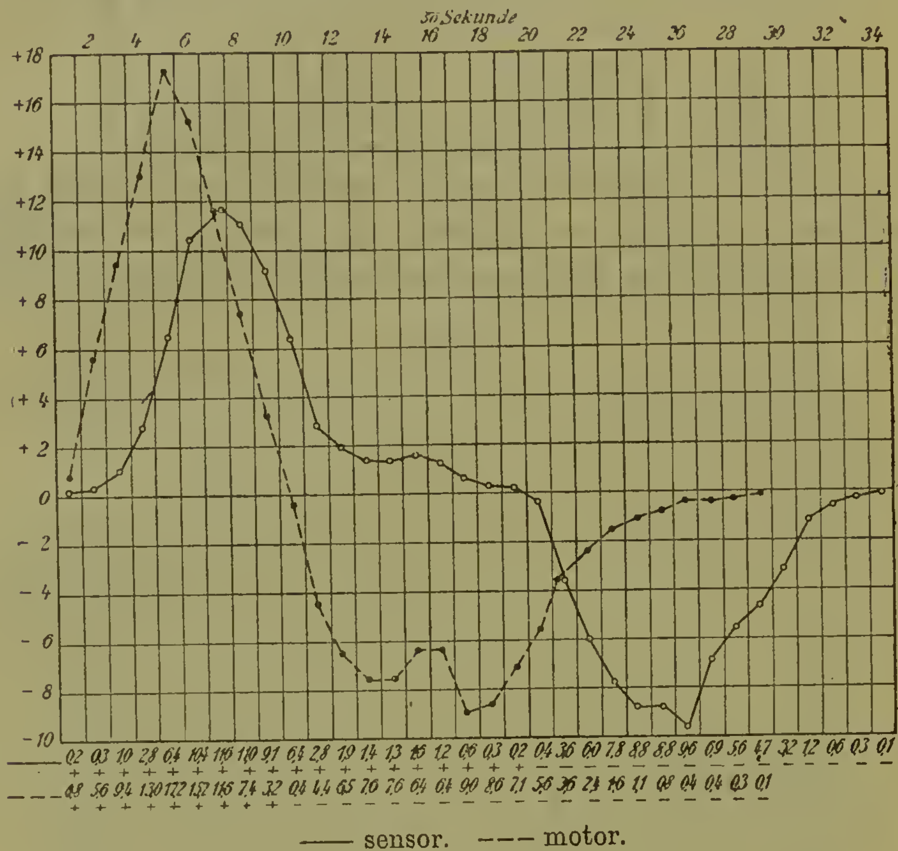
Vp. Pa. Sensorisch und motorisch.

die Kurven zeigen) durch eine geringe zeitliche Verlängerung (ein- bis zweifünfzigstel Sekunde mehr bis zur Erreichung der Nulllinie). Diese beiden Faktoren bedingen die Verflachung.

Reaktionszeiten: motor. M. = 14/100, M. V. = 2/100, sensor. M. = 52/100, M. V. = 21/100.

12. Vp. Re. (Zahl der Kurven motor. 14, sensor. 6).

Schon die motorische Durchschnittskurve Textfig. 37 dieser Vp. ist ziemlich flach (Steilheitsquotient 0,6); es ist mäßiger Rückstoß vor-



—— sensor. - - - motor.

Fig. 37.

Vp. Re. Sensorisch und motorisch.

handen. Die sensorische Durchschnittskurve zeigt weitere sehr wesentliche Verflachung (Steilheitsquotient 1,7) und Verschwinden des Rückstoßes, Rückbewegung erst nach beträchtlicher Zwischenzeit.

Testzahlen:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	83,8	6,0	10,0	2,7	17,15	3,0
sensor.	72,0	10,2	4,0	1,0	12,0	3,4

Reaktionszeiten: motor. M. = 32/100, M. V. = 15/100, sensor. M. = 64/100, M. V. = 11/100.

13. Vp. Hi.

Von dieser Vp. existieren nur motorische Kurven. (Zu der Durchschnittskurve Textfig. 38a, sind 22 Einzelkurven verarbeitet.) Die Bewegungsform ist ziemlich energisch motorisch. Von derselben Vp. Hi sind in Fig. 38b eine Reihe von Einzelkurven (8) verarbeitet, welche

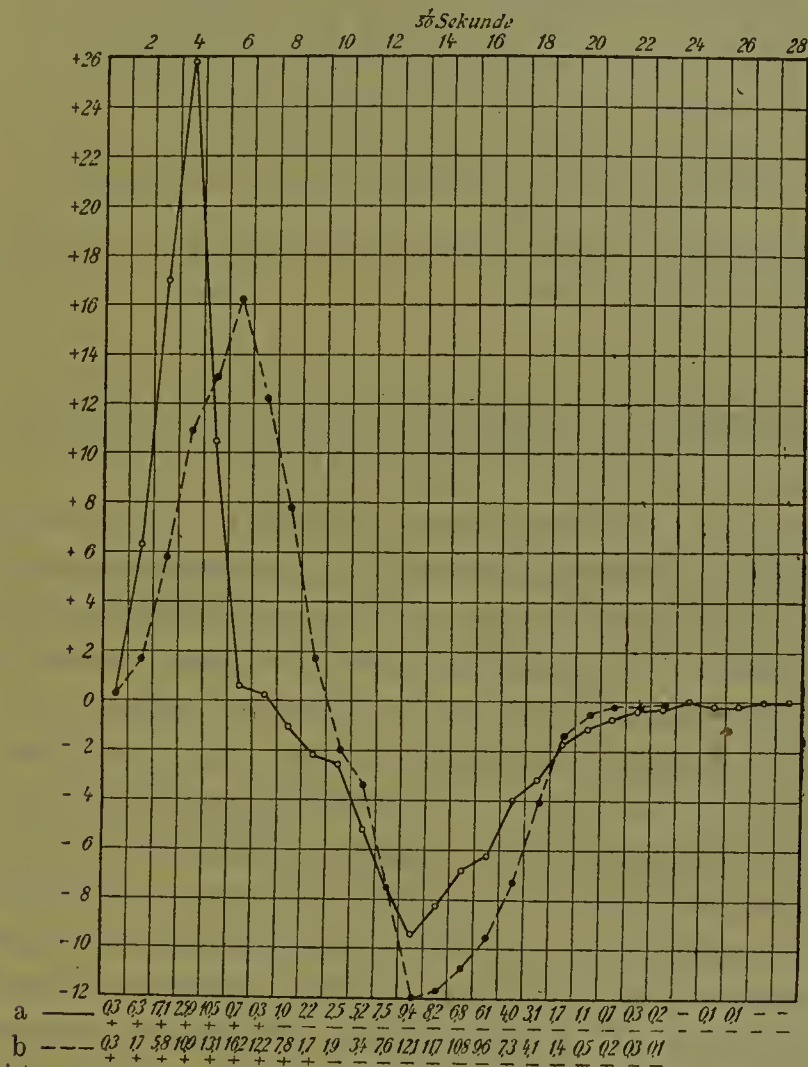


Fig. 38a und b.

Vp. Hi. Motorisch und unwillkürliche Hemmung.

von vorzeitigen Reaktionen dieser Person stammten und eine eigenartige Kurvenform hatten, die durch Verlangsamungen im Anstieg charakterisiert ist. Ähnliche »Verzögerungen« der Kurve zeigte eine andere Vp., deren Versuchsergebnisse hier nicht weiter verwertet sind, in sehr ausgesprochenem Maße. Tafelfig. 51 demonstriert eine solche Kurve.

Steilheitsquotienten für Vp. Hi: motor. 0,3, unwillkürlich verzögert 0,6.

Testzahlen:

	G.-B.		D.-G.		H.-G.	
	M.	M. V.	M.	M. V.	M.	M. V.
motor.	61,9	7,9	10,0	3,0	25,9	3,1
sensor.	70,6	5,0	9,0	1,2	16,2	1,5

Reaktionszeiten: motor. M. = 12/100, M. V. = 3/100; sensor. M. = 8/100; M. V. = 1/100.

Zusammenfassung der Ergebnisse hinsichtlich der individuellen Differenzen.

Wir haben an der Hand unserer Durchschnittsberechnungen bei den untersuchten Personen Unterschiede in der Bewegungskurve festgestellt, welche wir wohl als für die einzelnen Individuen typisch betrachten können. Wir übergehen dabei die Frage, welche die Lehre von den persönlichen Unterschieden überhaupt angeht, wie weit es etwa gelingen könnte, durch extreme und einseitige Übung solche Unterschiede zu verwischen. In unseren Experimenten traten sie jedenfalls in der langen Zeit, während welcher die Versuche angestellt wurden, und trotz der langen Zwischenpausen zwischen den einzelnen Versuchsserien mit großer Konstanz als besondere Arten des Verhaltens bei sehr bestimmt gestellten Aufgaben hervor. Und gerade hinsichtlich der Ausführung von Bewegungen sprechen auch die Beobachtungen des Lebens dafür, daß selbst da, wo alle Bedingungen dafür vorhanden zu sein scheinen, daß persönliche Unterschiede nivelliert werden, solche doch in ausgeprägter Weise zutage treten. Man denke nur, um zu dem früher zitierten Beispiel zurückzukehren, an das Militär, wo alle durch Übung und Drill dazu gebracht werden, motorische Aufgaben nach bestimmten Richtungen in durchaus gleicher Weise zu lösen und trotzdem noch Spielraum genug übrig behalten, bei der Ausführung dieser gemeinsamen Aufgaben persönliche Eigenarten zu entfalten. So ist es denn im ganzen nicht

so sehr überraschend, daß selbst bei den sehr einfachen Aufgabestellungen, wie sie der Reaktionsversuch mit registrierter Bewegung in sich schließt, deutliche und konstante persönliche Differenzen merklich werden[1]).

Mit Hilfe der Durchschnittskurven konnten verschiedene Momente im Ablauf der Bewegung als für die Kennzeichnung der einzelnen Individualität wichtig unterschieden werden. Solche Momente waren einmal die mit der Energie der Bewegung zusammenhängenden, die Steilheit der Kurven, die Größe der Geschwindigkeit und das Ausmaß der Bewegung. Andererseits traten Besonderheiten des Verhaltens hervor als Eigenart des Abschlusses der Bewegung ebenso, wie des Beginns derselben.

Es konnten sonach an der Hand dieser Zeichen die Versuchspersonen nach ihrer Bewegungskurve in Gruppen geordnet werden, welche zugleich zu der motorischen Einstellung in Beziehung gesetzt wurden. Es zeigten sich ganz große Unterschiede zwischen den Gruppen α und β, von welchen die erste (Gruppe α vornehmlichstes Beispiel Vp. J.) ganz bedeutende Geschwindigkeits- und Steilheitswerte in der motorischen Kurve erreichte, während die zweite Gruppe (Vp. Sp., Vp. Mo.) nur etwa die Hälfte der absoluten Werte der Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit der Vp. J. (beim Steilheitsquotienten ist der Unterschied noch größer), aufwiesen. Subjektiv neigte die erstere Vp. zu extrem motorischer, die beiden letzteren, besonders Vp. Sp., zu sensorieller Einstellung. Wichtig und charakteristisch ist, daß Vp. Sp. auf dauernde Aufforderung zu energisch motorischer Einstellung und im Verlaufe der Übung wohl den zurückgelegten Weg beständig vergrößerte, so daß die Exkursionsweite ihrer »energisch motorischen« Reaktion der von Vp. J. erreichten etwa gleich wurde, daß aber trotzdem die Durchschnitts- und Höchstgeschwindigkeit nicht wesentlich erhöht wurden und den enormen Abstand von denen der Vp. J. beibehielten. Der Rückstoß war bei J. und

---

1) Ich erörtere nicht die Frage, inwieweit etwa rein anatomische Bedingungen für den Ausfall der Bewegungen in Betracht zu ziehen wären. Sie könnten, wenn überhaupt, nur für wenige der hier erörterten Momente in Frage kommen und hängen andererseits auch wieder von den Bewegungsgewohnheiten ab. In späteren Untersuchungen soll beim Vergleich der Bewegungen in verschiedenen Gelenken auch dieser Frage noch näher getreten werden.

nahestehenden Versuchspersonen sehr stark, bei Sp. und Mo. nur in geringem Maße vorhanden. Bei dieser letzteren Versuchsperson war er aber stärker als der bloßen Energie der Kurve entsprochen hätte, einmal wohl, weil der Umfang ihrer Bewegungen kurz war und dann vielleicht auch, weil unwillkürliche Betonung des Rükstoßes stattfand.

Es können somit die beiden Gruppen voneinander getrennt werden, als in ihrer Bewegungsenergie[1]) (kenntlich an der Kurvensteilheit, den Geschwindigkeitswerten und dem Rückstoß) voneinander wesentlich unterschieden; zu gleicher Zeit ist festzuhalten, daß die ihrer Kurve nach energisch motorischen Personen sich subjektiv als muskulär reagierende, die der Kurve nach sich wenig energisch betätigenden sich subjektiv als zu sensorieller Reaktionsweise neigende bekannten.

Die Reaktionen mit sensorieller Einstellung zeigten bei allen Versuchspersonen eine Veränderung der Bewegungsenergie im Sinne der Verflachung und Abnahme der absoluten Werte. Eine Gesetzmäßigkeit des Grades dieser Veränderungen bei den einzelnen Versuchspersonen konnte nicht festgestellt werden. Im stärksten Maße fanden sie sich sowohl bei der extrem motorisch reagierenden Vp. J., wie bei der am wenigsten energisch verfahrenden Vp. Sp.

In der Gruppe c endlich sind Versuchspersonen zusammengestellt worden, welche bei mittlerer Energie der motorischen Einstellung sich durch Besonderheiten der Bewegungskurve auszeichneten, wie sie vor allem die Rückstoßhemmung darstellt. Für diese bildet Vp. Kr. in erster Linie ein ausgeprägtes Beispiel.

Zusammenfassend kann man somit die individuellen Unterschiede sondern: erstens in solche, welche in der

---

1) Es sei ausdrücklich bemerkt, daß mit dem Ausdruck »Bewegungsenergie«, wie er hier öfters gebraucht wird, nichts über die Arbeitsleistung bei der Bewegung gesagt sein soll. Wir beziehen den Begriff der Energie nur auf den Geschwindigkeitsablauf der Bewegung und ordnen die Kurven in mehr oder weniger energische nach den oben genannten Kriterien, die aus der Kurvenform entnommen sind. Daß durch die Angabe der Bewegungsgeschwindigkeit nichts Eindeutiges über den Energieaufwand bei der Bewegung gesagt wird, ist klar. Vgl. hierzu auch R. Dubois-Reymond Arch. für Anat. und Physiol. 1902 Suppl. S. 39.

allgemeinen motorischen Energieentfaltung und zweitens in solche, die in Besonderheiten des Verlaufs ihre Grundlage haben. Die ersteren sind genugsam erörtert worden. Es sind von den Versuchspersonen die verschiedensten Grade motorischer Energieentwicklung in für die einzelnen typischer Weise eingehalten. Als Unterschiede, die in Besonderheiten des Verlaufs begründet sind, müssen vor allem die Eigenarten des Beginns und Abschlusses der Bewegung festgehalten werden. Auch über die Gesetzmäßigkeiten der letzteren, so weit sie zurzeit erkennbar sind, die Bremsung, Betonung oder Vermeidung des Rückstoßes ist bereits Ausführliches an verschiedenen Orten der vorhergehenden Ausführungen bemerkt worden.

Dagegen wäre hinsichtlich der Verschiedenheiten des Beginns der Bewegung noch einiges nachzutragen. Auch hier sind wieder zunächst Eigenschaften des Beginns der Bewegungen festzuhalten — sie sind früher schon erwähnt worden —, die mit der allgemeinen Verlaufart der Kurve in gesetzmäßigem Zusammenhang stehen. Schnell und energisch verlaufende Kurven, die zu hohen Werten ansteigen, beginnen auch mit relativ höheren Werten, langsame umgekehrt. Insofern zeigt auch der Beginn der Bewegung — ebenso wie ihr Schluß — bei den einzelnen Personen Verschiedenheiten, welche mit der allgemeinen Form und der Höhe der Werte der Kurve in Zusammenhang stehen. Aber, abgesehen von diesen allgemeinen Gesetzmäßigkeiten zeigen manche Personen im Beginn der Bewegung Besonderheiten, die eigens vermerkt werden müssen. Als eine solche haben wir den negativen Vorschlag bei einer Reihe von Personen kennen gelernt, und als »Ausholen« vor der eigentlichen Bewegung deuten zu dürfen geglaubt. Aber auch abgesehen von dieser Vorbewegung sind bei manchen Personen Verzögerungen des Beginns festzustellen, wie sie in besonders ausgeprägtem Maße Vp. Pl. sowohl bei den motorischen wie bei den sensorischen Kurven zeigt. Kurz, es ist offenbar, daß auch der Beginn der Kurve individuelle Eigenarten aufweist, die vielleicht noch mehr hervortreten würden, wenn die Bewegungen bei größerer Rotationsgeschwindigkeit der Registrierkymographien aufgenommen werden würden; bei unseren Versuchen erschien eine größere als die angewendeten Geschwindigkeiten nicht zweckmäßig.

Jedenfalls kann kein Zweifel bestehen, daß gerade die Besonderheiten im Beginn und Abschluß der Kurve individualpsychologisch von großem Interesse sein müssen. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind sie von besonderer Bedeutung für den Mechanismus jener persönlichen Eigenarten, die als Ebenmaß, Grazie, Akuratesse der Bewegungen und deren Gegenteil jeweils bei den einzelnen Menschen auffallen.

Es bleibt nun noch die Aufgabe, die als individualpsychologisch typisch erkannten Eigenschaften der Bewegungskurve zu jenen anderen Tatsachen in Beziehung zu setzen, die bisher zur Aufstellung von Typen nach den Resultaten der Reaktionsversuche geführt haben, zu den »Reaktionsweisen« der einzelnen Individuen und der »natürlichen« Reaktion derselben. Bisher sind in unseren Untersuchungen folgende Tatsachen in dieser Hinsicht festgelegt worden:

1. Mit der Reaktionsform ändert sich nicht nur die Reaktionszeit, sondern noch gesetzmäßiger als diese die Kurve der Reaktionsbewegung. Sensorielle Reaktionen haben eine flachere Bewegungskurve mit geringeren absoluten Werten, als muskuläre Reaktionen derselben Personen.

2. Es bestehen typische Unterschiede in der Energieentwicklung der Bewegungskurve der einzelnen Personen.

3. Es zeigt sich, daß die stärkere Energieentwicklung der Kurven bei Personen stattfindet, die von vornherein zu muskulärer Reaktionsweise neigen. Zu sensorieller Reaktionsweise neigende Personen erreichen nicht annähernd gleich motorische Kurven, auch wenn sie eine muskuläre Einstellung erzwingen.

Es bleibt nun 4. festzustellen, wie sich die bisher als individualpsychologisch typisch betrachteten Unterschiede der Reaktionszeit zu den als in gleicher Weise typisch festgestellten Unterschieden der Bewegungskurve verhalten, und zwar sowohl bei der natürlichen Reaktion, als auch bei der Einstellung auf die extremen Formen.

Es sind im Verlauf unserer Untersuchungen keine systematischen Experimente zum Vergleich der natürlichen Reaktion mit den extremen Einstellungen angestellt worden. Doch sind bei denjenigen Personen, bei welchen eine genügende Anzahl von Versuchen vorlag, die ganz sicher extrem motorischen Reaktionen von den übrigen mehr natürlichen Reaktionen ausgesondert worden.

Bei Vp. Sp. und Vp. Mo. sind die Durchschnittskurven beider Arten in den Textfig. 30 bzw. 32 zusammengestellt worden; bei beiden zeigten die Kurven mit extremer muskulärer Einstellung eine stärker motorische Form. Dem entsprach eine nicht unbeträchtliche Abnahme der Reaktionszeiten bei den extrem motorischen Reaktionen. Bei Vp. J. dagegen, welche den stärksten Gegensatz zu den Personen Sp. und Mo. in ihrer Reaktionsweise bildete, zeigten die Kurven von vornherein in ziemlich konstanter Weise eine extrem motorische Energie, im Verlauf der Versuche nahmen nur noch die Reaktionszeiten etwas ab. Vergleichen wir aber die Durchschnittszahlen, so erhalten wir das Ergebnis, daß die extrem muskulären Reaktionen der Vp. Sp. keine längere, ja vielleicht noch eine etwas kürzere Reaktionszeit hatten, soweit man die geringe Zahl der Beobachtungen hierfür verwerten darf, als die Reaktionen der Vp. J. Dabei aber hatten diese letzteren eine unvergleichlich stärker motorische Bewegungskurve als die ersteren.

Es geht also hieraus hervor, daß der bei dem Vergleich von Reaktionszeit und Bewegungskurve bei ein und derselben Person zutage tretende Parallelismus der Werte bei verschiedenen Personen nicht festgestellt werden kann. Es können Personen die gleiche Reaktionszeit haben und dabei sehr verschiedene Bewegungskurven; ja es kann sogar von zwei Personen diejenige, welche die kürzere Reaktionszeit zeigt, eine wesentlich flachere Kurve mit geringeren Werten besitzen, als die mit längerer Reaktionszeit.

Wie diese Verhältnisse sich bei unseren Versuchspersonen genauer darstellen, sucht die folgende Tabelle G zu demonstrieren. In dieser sind die Versuchspersonen in der Reihenfolge der früher gegebenen Gruppierung zusammengestellt und neben sie die Werte für die Reaktionszeit und die wichtigsten Maßzahlen der Bewegungskurve. Als solche sind der Steilheitsquotient, als Charakteristikum für die Kurvenform, und die Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeit, zur Kennzeichnung der Höhe der absoluten Zahlen, wiedergegeben. Es ist ferner eine doppelte Rangordnung der Versuchspersonen hergestellt worden. Erstens eine solche nach der motorischen Energie. Diese wurde gefunden, indem die Versuchspersonen

Tabelle G.

Versuchs-person	Art der Kurve	Reaktions-zeit in 1/100 Sek.	Steilheits-quotient	Höchstge-schwindig-keit	Durch-schnittsge-schwindig-keit	Ordnungs-zahl n. d. mot. Energie	Ordnungs-zahl n. d. Re-aktionszeit
J.	motor.	18	0,13	39	15	1	V
	sensor.	41	1,8	10	4		
Rü.	motor.	21	0,2	26	12	3	VII-VIII
	sensor.	48	0,9	13	5		
Al.	motor.	22	0,26	25	10	5	IX-X
	sensor.	65	0,8	15	6		
Tr.	motor.	13	0,2	27,3	13,4	2	II
	sensor.	13	0,5	15	8,5		
Pl.	motor.	24	0,4	21,7	8,3	9	XI-XII
	sensor.	46	0,5	10,7	4,7		
Sp.	motor.	21	0,5	17	7,0	12	VII-VIII
	motor. energ.	15	0,5	19,3	8,0	11	IV
	sensor.	62,0	5,0	5,0	1,5		
Mo.	motor.	31,0	0,5	16,4	5,5	13	XIII
	motor. energ.	19	0,5	17,0	6,8	13	VI
	sensor.	44	1,0	9,0	4		
Ho.	motor.	22	0,4	14,6	8,0	10	X
	sensor.	26	0,5	12,7	7,5		
Kr.	motor.	24	0,2	26,3	12	4	XI-XII
	sensor.	68	0,4	19,1	9,0		
We.	motor.	24	0,3	23,5	11,0	6	XI-XII
	sensor.	61	0,9	11,8	6,0		
Pa.	motor.	14	0,3	20,7	10,0	8	III
	sensor.	52	0,6	13,3	7,0		
Re.	motor.	32	0,6	17,5	10,0	11	XIII
	sensor.	64	1,7	12,0	4,0		
Hi.	motor.	12	0,3	25,0	10,0	7	I

nach jeder der drei Rubriken von Werten für die motorischen Kurven (Steilheitsquotienten, H.-G., D.-G.) geordnet und aus den gewonnenen Ordnungszahlen die Mittelwerte gezogen wurden. Die vorletzte Spalte (arabische Ziffern) gibt diese Reihenfolge wieder. Demgegenüber bezeichnen die Zahlen der letzten Spalte (römische Ziffern) die Rangordnung der Versuchspersonen nach ihren Reaktionszeiten.

Ein Blick auf die Tabelle bestätigt ohne weiteres die eben erörterte Tatsache, daß ein Parallelismus zwischen den Reaktionszeiten und dem Charakter der Kurven nicht besteht. Die Rangordnung nach der Länge der Reaktionszeiten fällt keineswegs mit der nach der entwickelten motorischen Energie zusammen.

Was bedeuten und lehren diese Ergebnisse?

Sie zeigen, daß, wenn typische individuelle Unterschiede sowohl der Reaktionszeiten wie der Kurvenformen existieren, diese Unterschiede nicht auf dieselben psychologischen Grundtatsachen zurückgeführt werden können, denn sie fallen nicht miteinander zusammen. Es wird deshalb nötig sein, sich die in Betracht kommenden Momente in ihrem Verhältnis zueinander zu vergegenwärtigen, um die gewonnenen Resultate psychologisch deuten zu können.

Die Gesetzmäßigkeiten, welche wir zu erörtern haben, sind die von Reaktionsform, Bewegungsform und Reaktionszeit, und zwar sind es die individualpsychologischen Beziehungen dieser Gesetzmäßigkeiten, welche jetzt zu prüfen sind. Die typische Reaktionsweise der einzelnen Individuen kann nicht in gleicher Art durch Reaktionszeit und Kurvenform gespiegelt werden, weil ganz unzweifelhaft gleichen Reaktionszeiten sehr verschiedene Bewegungsformen bei den einzelnen Individuen in konstanter Weise zugeordnet sein können. Nun kann es aber auch gar nicht fraglich sein, daß Reaktionszeit und Kurvenform sehr verschiedene Teile des Reaktionsvorganges bezeichnen. Die Reaktionszeit bezieht sich auf den Abschnitt bis zum Eintritt der Bewegung, die Kurvenform liefert ein Abbild der Bewegung selbst. Da aber sehr innige Beziehungen bestehen zwischen den Vorgängen in der Reaktionszeit zu der Bewegung und den Vorgängen in der Reaktionszeit und der Bewegung, zu den Vorgängen in der Zeit der Vorbereitung vor dem Erscheinen des Reizes, so wird es verständlich, daß sowohl Reaktionszeit als Bewegungsform

brauchbare Kennzeichen des ganzen Reaktionsvorganges abgeben können. Allein damit ist natürlich nicht die Tatsache verdunkelt, daß es sich bei Reaktionszeit und Bewegungsform um durchaus verschiedenartige Dinge handelt. Zweifellos begünstigt, um das noch genauer darzulegen, die muskuläre Einstellung die Entwicklung motorischer Energie; man kann sogar im allgemeinen die muskuläre Einstellung als das Hilfsmittel auffassen zur Entfaltung einer hohen Bewegungsenergie. Ebenso zweifellos ist es, daß, wenn nicht besondere Intentionen[1]) im Spiele sind, ganz kurze Reaktionszeiten dabei erzielt werden. Das aber berechtigt uns zunächst nur, zu erwarten, daß die einzelnen Personen bei ihren kürzesten Reaktionszeiten die für sie energischsten Bewegungskurven liefern. Dieser Erwartung entsprechen unsere Versuchsergebnisse durchaus. Das hindert aber natürlich nicht, daß bei Personen, welche etwa die gleichen »natürlichen« Reaktionszeiten haben, verschiedenartige Bewegungskurven zustande kommen.

Es ist aber noch eine weitere Tatsache, und zwar als ausschlaggebend für das behandelte Verhältnis, in Betracht zu ziehen. — Schon seit längerer Zeit ist bekannt, daß die »natürliche Reaktion« eine sehr flüchtige Erscheinung ist, daß sie schnell durch Übung zu beseitigen und in eine der extremen Formen überzuführen ist. Mit ihr schwinden die Unterschiede der Reaktionszeit, so daß bei geübten Personen nennenswerte Differenzen der Reaktionszeiten nicht vorhanden sind, eine Tatsache, welche Wundt zu dem Schlusse führte, daß diese Funktionen aller Wahrscheinlichkeit nach Konstanten der menschlichen Gattung sind[2]). Auch unsere Versuchspersonen zeigten diesen Prozeß der Verkürzung der Reaktionszeiten im Verlauf der Übung. Dabei bleiben aber die Bewegungskurven sehr wenig beeinflußt, wie das z. B. Vp. Sp. und Mo. nach beiden Richtungen sehr eindringlich demonstrierten. Wenn dem so ist — und unsere Ver-

---

1) Solche Intentionen können sich auf den Bewegungsvorgang beziehen (Bremsung, Rückstoßverwertung usw.) und damit die Zeitwerte verschieben; sie können sich aber auch direkt auf die zeitlichen Verhältnisse richten, z. B. möglichst schnell nach Erscheinen des Reizes eine langsame Bewegung zu machen. Dies letztere ist zwar ein direkt unnatürliches Vorhaben, doch ist wohl nicht zu bezweifeln, daß ähnliche Intentionen, ob sie mehr oder minder bewußt sind, die Zeitverhältnisse sehr wesentlich beeinflussen können.

2) Phys. Psych. 5. Aufl. III S. 426.

suchspersonen zeigen durchweg eine große Konstanz ihrer Bewegungskurve —, so erhalten wir in folgenden Ergebnissen eine Klärung der diskutierten Verhältnisse.

In der Bewegungskurve finden wir in hervorragendem Maße eine individuelle Konstante, während uns die Reaktionszeit eine allgemein feststehende Größe gibt. Daher kommt es, daß bei einiger Übung alle Personen bei extrem muskulärer Einstellung gleiche Reaktionszeiten, dagegen eine sehr verschiedene Energieentwicklung der Kurven zeigen. Die einzelnen Personen reagieren wohl bei der extrem muskulären Einstellung mit der für sie energischsten Kurve; aber wenn man die jeweils energischsten Kurven mit gleichen Reaktionszeiten der einzelnen Versuchspersonen vergleicht, so zeigen diese energischsten Kurven der einzelnen Individuen noch überaus große Unterschiede der Energie. Insofern weiterhin allgemeine Beziehungen bestehen zwischen der muskulären Einstellung und der motorischen Energie, die erstere in der Regel ein Hilfsmittel ist, die letztere herbeizuführen, ist es nicht verwunderlich, daß Personen, die eine große motorische Energie entwickeln, auch zu muskulärer Einstellung neigen. Da aber in der Einstellung auch besondere Intentionen enthalten sein können, welche als solche Reaktionszeitverlängerungen bedingen, so kann es geschehen, daß auch bei erheblicher motorischer Energie nicht entsprechend kurze Reaktionszeiten verzeichnet werden. Endlich können auch zwischen den extremen Formen vermittelnde Einstellungen mehr in der Energie der Kurve als in der Reaktionszeit ihren Ausdruck finden. Wollen wir also den Reaktionsvorgang wirklich erschöpfend erfassen, so müssen wir alle Faktoren in Betracht ziehen, Reaktionszeit sowohl wie Bewegungsform. Kommt es uns hingegen vorwiegend auf die Festhaltung individueller Unterschiede an, so verdient die Bewegungskurve weitaus den Vorzug.

d) Ausblicke in die Pathologie.

Untersuchungen, welche sich auf den Ablauf der Bewegungen unter abnormen und pathologischen Bedingungen beziehen, stehen eben erst in ihren Anfängen. Es seien einige wenige Worte gestattet, mehr hinsichtlich der Richtung, welche für die Arbeiten zweckmäßig ist und über ihre Aussichten, als über schon vorhandene Ergebnisse.

Die Gesetze des Rückstoßes lassen Abweichungen erwarten bei Störungen sowohl nervöser wie mehr seelischer Natur. Die Untersuchung wird sich hier nicht nur auf die rein willkürlichen Bewegungen beschränken dürfen. Die Pathologie mancher Tremorarten sowohl, wie die der Sehnenreflexe ist aller Wahrscheinlichkeit nach nicht unwesentlich durch die Phänomenologie des Rückstoßes mit bestimmt[1]). Bei den Willkürbewegungen wird der Rückstoß im Verein mit den übrigen Gesetzmäßigkeiten unter den besonderen Bedingungen verschiedener Intoxikationen, der Ermüdung, neuropathologischer und psychopathologischer Zustände zu untersuchen sein. Nach all diesen Richtungen sind zurzeit Untersuchungen, über welche späterhin genauer zu berichten sein wird, im Gange.

Ich füge hier ganz provisorisch und vorbehaltlich späterer genauerer Diskussion an umfangreicherem Material die Bewegungskurven zweier Nervenkranker an, weil diese geeignet erscheinen, die bisher erörterten Gesetze der Bewegung, vor allem des Rückstoßes in eigenartiger Weise zu illustrieren.

Die Tafelfig. 52, 53 stammen von einem Kranken mit multipler Sklerose, die Tafelfig. 55—58 von einem Kranken mit Tabes. Beide Patienten hatten auch in den Händen die entsprechenden Erscheinungen (leichte Spasmen bzw. Ataxie).

Die Unterschiede der Ablaufsform der Bewegung sind ganz enorm; die Kurven bilden zwei Extreme gegeneinander und unterscheiden sich auch von all den normalen, die wir kennen gelernt haben, sehr bedeutend. Die spastische Kurve ist charakteristisch durch ihre geringe Exkursion, durch ihre Flachheit, die besonders als Verzögerung vor dem Schluß des Anstiegs hervortritt, wo sich

---

1) Vgl. hierzu Pfahl (Zeitschr. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatr. 1, 520), welcher eine der Kontraktion des Streckers folgende Zusammenziehung des Beugers beim Patellarreflex registrierte.

die Kurve sehr deutlich abrundet, durch eine diesem Verhalten entsprechende Kleinheit der Werte (vgl. Textfig. 39) und den trotz dieser geringen Energie der Kurve und der Verlangsamung vor dem Schluß hervortretenden relativ lebhaften Rückstoß. — Ist es erlaubt an diesen Befund eine Deutung anzuschließen, so dürften die Besonderheiten der Kurve bedingt sein durch Erscheinungen, welche zu den spastischen Phänomenen in Beziehung zu setzen sind. Offenbar tritt der Rückstoß unter Bedingungen, welche Spasmen setzen, leichter und stärker auf. Die Versuchsperson vermeidet ihn durch Einhaltung geringer Geschwindigkeiten und durch frühzeitige Verlangsamung vor dem Abschluß[1]). Trotz dieser Vorkehrungen tritt der Rückstoß dennoch ein. — Diese Auffassung wird bestärkt durch die Betrachtung der Kurven, welche erhalten wurden, wenn man den Kranken aufforderte, den Finger fortlaufend schnell zu bewegen. Die Tafelfig. 54, welche eine Reihe solcher Bewegungen darstellt, unterscheidet sich sehr wesentlich von denen gesunder Personen, wie sie etwa Tafelfig. 13, 14 (Vp. J.) repräsentieren. Der Kranke mit spastischen Erscheinungen bringt ein so schnelles Hin- und Herbewegen unter Benutzung des Rückstoßes überhaupt nicht fertig, seine Bewegungen sind dauernd langsamer und verfallen trotzdem leicht in Dauerkontraktionen und spastische Gegenbewegungen. Offenbar spielt für die Entstehung dieser Phänomene die Pathologie des Rückstoßes eine große Rolle, insofern dieser durch sein zu frühes und abnormes Eintreten die Freiheit der Bewegung beeinträchtigt. Doch werden weitergehende Erörterungen sich auf ein größeres Material zu stützen haben.

Ganz anders das Bild der Fingerbewegung des tabisch Ataktischen. Was hier zunächst ins Auge fällt, das ist die übergroße Exkursionsweite der Bewegung, welche alle Leistungen der Normalen wesentlich übertrifft. Wir werden wohl nicht fehlgehen, wenn wir diese Erscheinung auf die Hypotonie bei der Tabes zurückführen. Aber auch der Rückstoß zeigt Eigenarten, die bemerkenswert erscheinen. Betrachten wir die Rückbewegung in Tafelfig. 55 u. 56, so finden wir eine Kurve, die man gut als aus zwei in stumpfem Winkel zueinander stehenden Linien gebildet ansehen kann. Wir haben dann

1) Der Kranke hatte nur ganz leichte Spasmen an den Händen, es erscheint ausgeschlossen die Verlangsamungserscheinungen auf »Lähmung« zu beziehen.

einen kurzen (in der Stellung zur Nullinie), flachen und einen langen, (zur Nullinie) steilen Schenkel. Dem kurzen Schenkel entspricht eine Bewegungszeit von etwa 8—10 Hundertstel Sek., dem 5—6mal so umfangreichen langen Schenkel eine nicht viel längere Dauer (12—14 Hundertstel Sek.). Wir haben wohl ein Recht, nur in dem ersten Teil der Kurve die Wirksamkeit des Rückstoßes anzunehmen und werden deshalb den Rückstoß als wenig energisch ansprechen. Diese Auffassung wird bestärkt durch die Berücksichtigung der nächsten beiden Kurven von demselben Kranken. Hier (Tafelfig. 57, 58) finden wir den stumpfen fast zu einem rechten Winkel geworden.

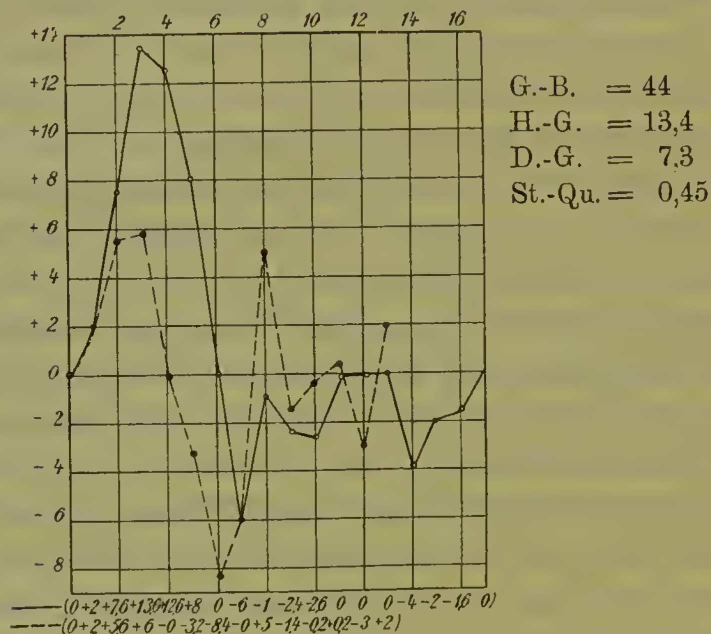


Fig. 39 a und b.

a —— Geschwindigkeitskurve einer motor. Reaktionsbewegung von Me. (multipl. Sklerose). $^1/_{50}$ Sek. b --- Beschleunigungskurve.

Wir haben eine ganz minimale Rückbewegung im Anschluß an die Hinbewegung, dann eine ziemlich beträchtliche Pause (10 bis 12 Hundertstel Sek.), daran dann erst anschließend die steile weitere Rückbewegung. Wir haben also bei diesem Tabischen einen sehr geringen Rückstoß, trotz der großen Steilheit und Energie der Kurve, eine Tatsache, welche gut zu unserer Auffassung vom Rückstoß zu passen scheint. Ist der Rückstoß bedingt durch die Bindung zweier Innervationen, ganz gleich ob durch Reflex oder sekundäre Induktion, so wird es nicht auffallen, daß er beein-

trächtigt wird, wo die Bedingungen für diese Bindung beeinträchtigt werden. Doch müssen auch hier alle weiteren Erklärungsversuche auf eine Zeit verschoben werden, wo ein größeres Tatsachenmaterial gesammelt sein wird.

Ich setze zur weiteren Bekräftigung des eben Erörterten noch vier Geschwindigkeitskurven (von jedem der Patienten je zwei) hierher. Textfig. 39 und 40 demonstrieren die Verhältnisse bei dem an Spasmen leidenden Kranken. Wir sehen flache Kurven mit geringen Werten, die Beschleunigungskurven (39 b, 40 b) zeigen den frühen Eintritt der Verlangsamungen; trotzdem findet sich beidemal Rückstoß

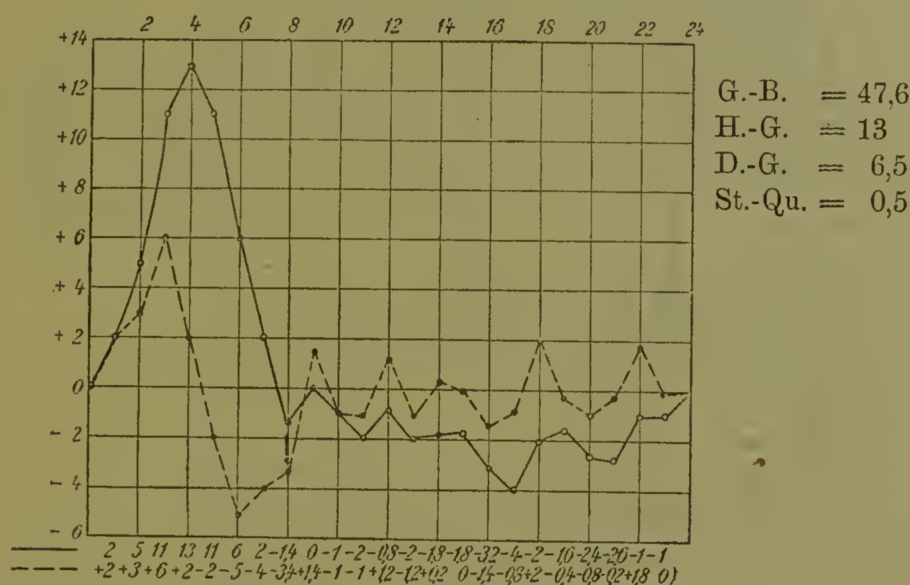


Fig. 40 a und b.

a —— Geschwindigkeitskurve einer motor. Reaktionsbewegung von Me. (multipl. Sklerose). $1/_{50}$ Sek. b - - - Beschleunigungskurve.

(in der Beschleunigungskurve durch ! gekennzeichnet). Die Geschwindigkeitskurven des Tabischen verdeutlichen die Steilheit und große Energie der Bewegung. In der Höhe der Geschwindigkeitswerte steht sie der normalen Vp. J. nahe (letztere hat sogar noch steilere Kurven, vgl. Quotienten); sie übertrifft diese aber weitaus in der Größe des Bewegungsumfanges. Diese letztere Eigenart aber ist wohl gerade ein Symptom der Hypotonie und des Schleuderns und mitbedingt durch die pathologischen Veränderungen im Mechanismus des bremsenden Rückstoßes. Die besprochenen Besonderheiten der Rückbewegung treten auch in den Geschwindigkeitskurven deutlich

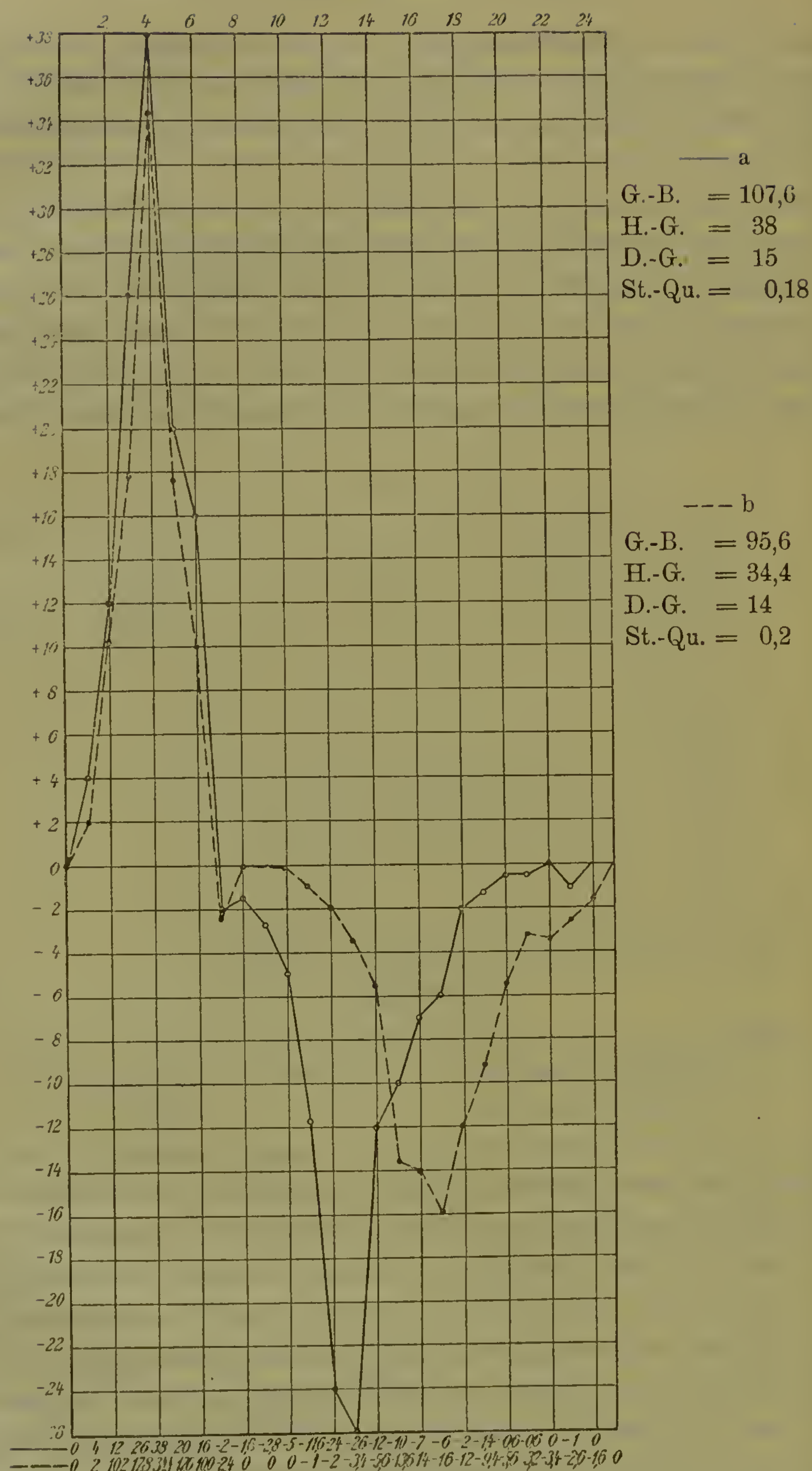


Fig. 41 a und b.

Motor. Reaktionsbewegungen. Geschwindigkeitskurven (Tabes). Vp. Ge. 1/50 Sek.

hervor; diese zeigen in den ersten 4—5 Zeitteilen der Rückbewegung geringe Werte, dann erst ein starkes Anwachsen der Ordinaten. In Textfig. 41 b (zu Tafelfig. 57 gehörend) findet sich sogar nach der ersten kurzen negativen Ordinate eine Reihe von Nullwerten (entsprechend der Strecke, in welcher die Bewegungskurve der Abszisse parallel läuft).

Die Testzahlen und der Steilheitsquotient für die beiden Patienten betragen:

Patient M. (Mult. Skler.)

	G.-B.	D.-G.	H.-G.	St.-Qu.
Fig. 39 a	44	7,3	13,4	0,45
Fig. 40 a	47,6	13	6,5	0,5

Patient G. (Tabes).

	G.-B.	D.-G.	H.-G.	St.-Qu.
Fig. 41 a	107,6	15	38	0,18
Fig. 41 b	95,6	14	34,4	0,2

Eine Reihe weiterer Kurven dieser Versuchspersonen ergaben durchaus analoge Resultate.

B. Der Ablauf wiederholter und fortlaufender Bewegungen.

Parallel den Versuchen, welche den Ablauf einmaliger einfacher Bewegungen behandelten, gingen solche, welche auf die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten wiederholter und aneinander gereihter bzw. gebundener Bewegungen zielten. Es wurden zu diesem Behufe verschiedene Versuchsanordnungen benutzt. Den Übergang von den vorher behandelten Bewegungen bildeten wiederholte ruckweise ausgeführte Fingerbeugungen und Streckungen. Hierbei schlug ein Metronom ein Tempo, welches auf dem Kymographion markiert wurde. Die Augen der Versuchsperson waren im allgemeinen geschlossen. Die Aufgabe war, nach dem Schlage des Metronoms den Finger zu beugen und zu strecken, und zwar schnell und ruckweise, auf einen Schlag nur zu beugen, auf den anderen zu strecken. Es wurden verschiedene Tempi für die Schlagfolgen des Metronoms gewählt: 60, 120, 180 p. Min. Wir erörtern zunächst die Ergebnisse dieser Versuche.

a. Wiederholte ruckweise Fingerbewegungen.

Zwei Eigenarten der Kurven dieser Bewegungen fallen sofort ins Auge; erstens die Tatsache, daß die Kurvenform und Energie gegenüber den einmaligen Bewegungen ganz wesentlich verändert ist, zweitens das Hervortreten rhythmischer Erscheinungen in den Bewegungsbildern.

Die nächsten Figuren demonstrieren diese Erscheinungen. Tafelfig. 59 zeigt Bewegungen von Vp. J. Es sind auf der Tafel zwei Serien von Bewegungen verzeichnet mit verschiedener rhythmischer Einstellung. Über den Bewegungskurven befinden sich in zwei Reihen die Aufzeichnungen der Stimmgabel in $^1/_{20}$ Sek. (für jede der Reihen). Ein Blick nun auf unsere Fig. lehrt, daß in diesen dauernd fortgesetzten ruckweisen Bewegungen auch nicht annähernd die Energie entwickelt worden ist, wie sie die Vp. bei ihren einmaligen Reaktionsbewegungen zu zeigen pflegt. Auch findet sich bei diesen ruckweisen rhythmischen Bewegungen der Vp. J. im allgemeinen kein Rückstoß. Er kann freilich auch

hier auftreten, wie die nächste Tafelfigur (60) zeigt; weist aber dann nicht entfernt die Energie auf, die er bei den motorischen Reaktionsbewegungen zu entwickeln pflegt.

Weiterhin wird in den Kurven ein Unterschied bemerkbar, der zwischen den einzelnen Bewegungen besteht. Wie früher bezeichnen auch in den Tafelfig. 59 u. 60 die aufsteigenden Linien die Beugungen, die absteigenden die Streckungen, und es tritt hier in der Regel bei den zahlreichen Kurven, welche von diesen wie von anderen Personen aufgenommen wurden, zutage, daß bei solchen wiederholten ruckweisen Bewegungen mit Wechsel von Beugung und Strekkung die beiden Arten der Bewegung (Beugung bzw. Strekkung) verschieden ausfallen. In der Fig. 59 fallen bei der mit I bezeichneten Kurvenlinie die Beugungen steiler aus wie die Strekkungen, bei der mit II bezeichneten sind umgekehrt die Streckungen steiler wie die Beugungen. Diese Erscheinung ist abhängig und ein Zeichen von jener anderen Eigenschaft der wiederholten Bewegungen, welche bereits angedeutet worden ist, nämlich der Rhythmisierung derselben.

Es ist bekannt, daß es nicht möglich ist, eine Reihe gleichartiger, aufeinander folgender Geräusche zu beachten, ohne unwillkürlich zu rhythmisieren. Diese Rhythmisierung besteht in einem subjektiven Herausheben einzelner Elemente (trotz der objektiven Gleichartigkeit aller) derart, daß die betonten Elemente intensiver als die unbetonten und jeder durch einen solchen Intensitätswechsel abgetrennte Taktteil durch ein größeres Zeitintervall von den anderen ähnlichen Taktteilen gesondert zu sein scheinen[1]). Dabei zeigt sich, wie Meumann auch mit graphischer Registrierung am Taktierapparat bewiesen hat, »daß nicht bloß den Intervallen zwischen den Eindrücken, sondern auch diesen selbst verschiedene Zeitwerte gegeben werden, indem der betontere Eindruck stets als der länger dauernde erscheint gegenüber dem minder betonten[2]).«

In dem Versuch nun, aus welchem unsere Kurven (Tafelfig. 59) entnommen sind, wurden in den gleichmäßigen Schlag des Metronoms Tempi hineingehört, und zwar fiel in der Serie, deren Kurven in der Figur mit

1) Vgl. Wundt, Phys. Psych. 5. Aufl. III. S. 55ff.
2) Wundt a. a. O. S. 56. Meumann, Wundts Phil. Stud. X. S. 321.

I bezeichnet sind, jedesmal auf den betonten Schlag die Beugung, in der mit II bezeichneten Kurvenlinie jedesmal auf den betonten Schlag die Streckung. Und die Figur zeigt sehr deutlich, daß jedesmal diejenige Bewegung steiler wird, deren entsprechendes Signal jeweils als betont aufgefaßt wird, bei der Kurvenlinie I die Beugungen, in der Kurvenlinie II die Streckungen. Es ist also nach dieser Figur (ebenso nach Fig. 60 und sehr zahlreichen anderen) ein weitgehender Einfluß der Rhythmisierung auf die Entwicklung der motorischen Energie festzustellen, in dem Sinne, daß die im Rhythmus betonten Bewegungen die motorisch energischeren werden[1]).

Nicht ganz so eindeutig tritt der von Meumann festgestellte Vorgang der Verschiebung der Zeitwerte durch die Rhythmisierung in unseren Bewegungsbildern hervor. Es sind hier zweierlei Momente zu unterscheiden: erstens die Tatsache, daß die Tendenz besteht, rhythmisch Zusammengehöriges einander zeitlich zu nähern und von der nächsten »Gruppe« abzutrennen, und zweitens der Umstand, daß der betonte Eindruck einen größeren Zeitwert erhält. Beide Momente können in gleicher Richtung wirken, wie das die Fig. 59 und 60 zeigen. Besonders instruktiv ist in dieser Hinsicht Fig. 59. In ihr verhalten sich die Kurven fast wie gleichartige Wellenbilder mit entgegengesetzten Phasen. Was in ihr im Jambus zusammengehalten wird, ist auch zeitlich einander genähert und von dem nächsten »Takt« durch einen größeren Zwischenraum abgetrennt. So erscheint in der Kurve I die Streckung an die Beugung geschoben, in Kurve II die Beugung an die Streckung. Dabei ist jedesmal die Bewegung, welche mit der Betonung zusammenfällt, die steilere, in Kurve I die Beugung, in Kurve II die Streckung, und hinter der betonten Silbe erfolgt ein längerer Zwischenraum, welcher die Gruppe von der nächstfolgenden abtrennt. — Bei diesem Beispiel des Jambentaktierens fallen die eben genannten zwei Momente zusammen, die betonte Bewegung ist zugleich auch die, welche die Gruppe abschließt. Anders bei dem dem Jambus entgegengesetzten Rhythmus, dem Trochäus (⏗ ⏑). Läßt man in dieser Taktart bewegen, so kann es, wie die Kurven zeigen, geschehen, daß die dem betonten Teil zukommende

---

1) Vgl. hierzu oben S. 101.

Zeitwertverlängerung die durch die Rhythmisierung bedingte Annäherung der zugehörigen Teile beeinträchtigt oder aufhebt. Dadurch kann bewirkt werden, daß eine trochäisch taktierte Bewegung hinsichtlich der zeitlichen Verschiebungen nicht viel anders aussieht wie eine jambisch taktierte. Und so kann es auch zu Verwischungen der zeitlichen Verschiebungen überhaupt kommen. Im allgemeinen freilich sind diese deutlich und werden, wie später noch gezeigt werden wird, ausgesprochener, wenn man kompliziertere Taktarten wählt als die genannten, bei welchen man auch subjektiv leicht von der einen Art in die andere fällt. Daß aber auch bei dem Taktieren von Trochäen, die Taktart in der Bewegungskurve deutlich hervortreten kann, zeigt unsere Fig. 60, in welcher die Beugung betont, die Streckung der Beugung angenähert und das Ganze von der nächsten Gruppe durch eine etwas längere Pause abgetrennt ist. — Jedenfalls sind diese Beziehungen von Rhythmus und Bewegung noch durch weitere Untersuchungen genauer aufzuklären.

Für unsere Ziele müssen wir uns mit diesem ersten Einblick in Erscheinungen, welche sich dem Untersucher sofort aufdrängen, begnügen. Die Phänomene der Rhythmisierung treten sogleich überall hervor, sobald man nur Bewegungen in längerer Reihenfolge machen läßt. Bei den Versuchen, von welchen die eben erläuterten Fig. stammen, wurden freilich zur Erleichterung des Studiums der Erscheinungen bestimmte Rhythmen willkürlich eingehalten. Aber auch, wenn man nicht mit dieser Absicht an den Versuch herangeht, so ist die Rhythmisierung doch unwillkürlich da, sobald man nur einige Zeit hindurch Bewegungen macht. Unter den einfachen Bedingungen des Nachtaktierens nach einem Metronom schlägt man dann unweigerlich Trochäen oder Jamben. Sucht man diese Rhythmisierung mit Gewalt zu unterdrücken, so gibt es zunächst eine subjektiv unangenehme Regellosigkeit und sehr bald doch wieder das Durchdringen irgend einer Rhythmisierung.

Diese Tatsachen sind ja durch subjektive Beobachtung und objektive Darstellung im Experiment lange genug bekannt. Für die Erkenntnis des Ablaufs der Bewegungen muß es aber von Bedeutung sein, den Einfluß dieser Momente in der Bewegungskurve wieder zu finden. Insbesondere für das Studium pathologischer Erscheinungen muß es wichtig erscheinen, diese Gesetzmäßigkeiten des Ablaufs der

Bewegungen zu kennen, weil sie es ermöglichen, die Einstellung auf eine längere Arbeitsleistung objektiv zu kontrollieren.

Individuelle Differenzen treten auch bei diesen Untersuchungen in erheblichem Maße zutage. Sie erscheinen sowohl als Unterschiede der Entwicklung der motorischen Energie, wie auch des Verhaltens zu der Rhythmisierung. Hinsichtlich der motorischen Energie ist von den untersuchten Personen ganz allgemein zu sagen, daß die Energieentwicklung bei diesen wiederholten, rhythmisierten, ruckweisen Bewegungen weit hinter dem zurückblieb, was dieselben Personen jeweils unter extrem muskulärer Einstellung im einzelnen Reaktionsversuch leisteten. Es wird das nicht wundernehmen, weil ja die Einstellung auf die Bewegung nach dem Schlage eines Metronoms von vornherein mehr die Bedingungen einer sensoriellen Konzentration setzt.

Hinsichtlich der Leistungen der einzelnen Personen konnte festgestellt werden, daß im allgemeinen diejenigen, welche im Reaktionsversuch erhebliche Energie entwickelten, auch bei den ruckweisen Bewegungen relativ motorisch energisch blieben — und umgekehrt.

Die Tafelfig. 61, 62 geben Kurven ruckweiser Bewegungen von Sp., sie erläutern die eben dargelegten Tatsachen nach beiden angegebenen Richtungen. Sie zeigen einerseits die geringere Energieentwicklung der Bewegung (flachere und kürzere Kurven) und andererseits die Verschiedenheiten des rhythmischen Verhaltens. Während bei Vp. J. der Einfluß der Rhythmisierung in dem Steilheitsunterschied zwischen der Beuge- und Streckkurve sehr stark hervortritt, zeichnen sich die Bewegungen von Sp. durch größere Gleichmäßigkeit in dieser Richtung aus. Sp. repräsentiert von den untersuchten Personen die gleichförmigsten Bewegungen; ein Unterschied, der durch Rhythmisierung bedingt wäre, ist fast gar nicht festzustellen, Hin- und Rückbewegung fallen nahezu gleichartig aus. Allerdings treten diese Verschiedenheiten des Verhaltens der Versuchspersonen nur bei relativ langsamen Taktfolgen deutlich hervor (die bisher behandelten Kurven stammten von Bewegungen nach einer Schlagfolge von 50—100 p. m.). Bei schnelleren Bewegungen wurden überall die rhythmischen Eigenschaften der Bewegungen deutlicher, wie das bekannten Erfahrungen entspricht.

Die nächsten Figuren zeigen noch weitere Einzelheiten zu den erörterten Verhältnissen. Textfig. 42a gibt die Geschwindigkeitskurve einer ruckweisen Bewegung (Vp. J.) bei etwa 60 Bewegungen in der Minute. Die Beugung ist betont und in dieser Eigenschaft leicht

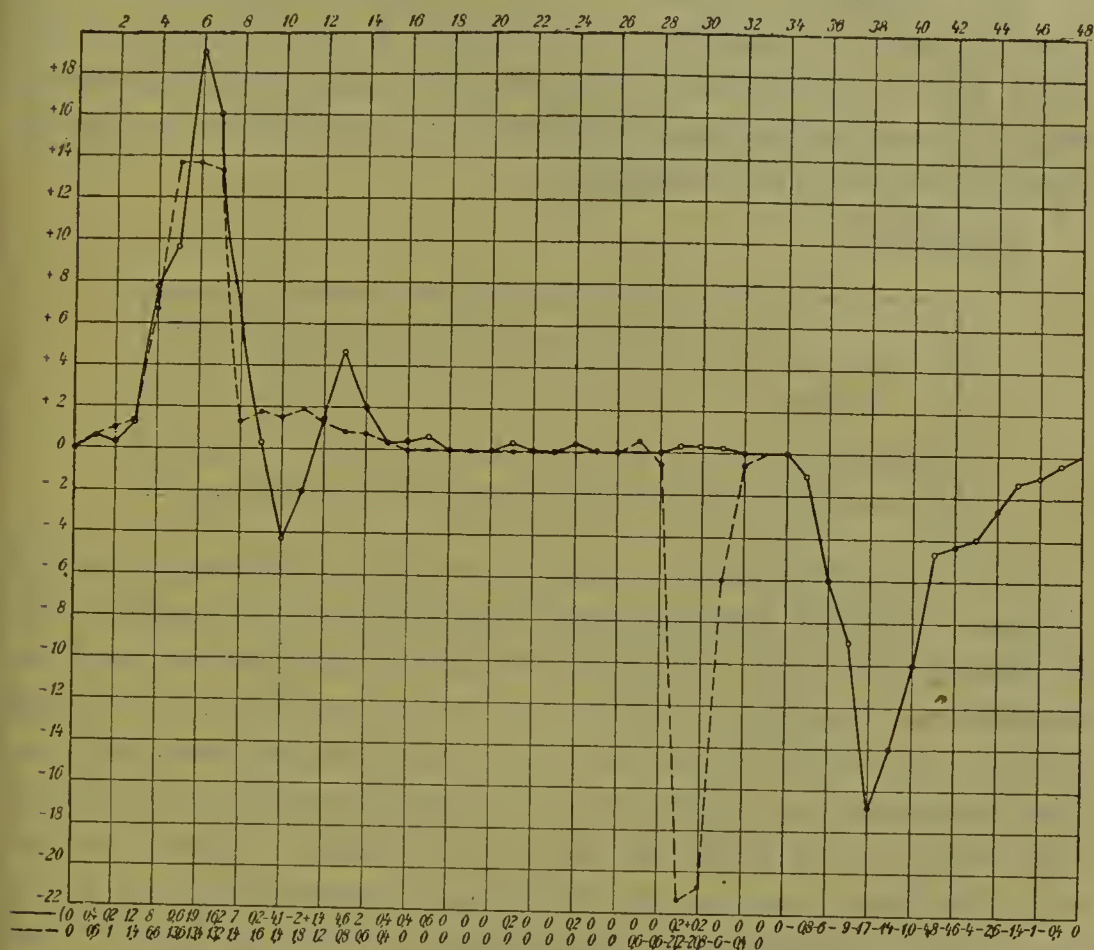


Fig. 42a und b.

a —— Fortgesetzte ruckweise Bewegung. Vp. J. Metronom etwa 60 p. m. Beugung betont. Zeit in $^1/_{40}$ Sek.

b --- Fortgesetzte ruckweise Bewegung. Metronom 60 p. m. Zeit in $^1/_{40}$ Sek. Vp. J. Rhythmus ◡ ⏊; ⏊ Streckung.

durch die vermehrte motorische Energie kenntlich, ein leichter Rückstoß ist bei der Beugebewegung vorhanden.

Testzahlen (Fig. 42a):

	G.-B.	D.-G.	H.-G.	St.-Qu.
Beugung (betont)	74	7,4	19	0,4
Streckung	75	5,4	17	0,8

Sowohl die Steilheitsquotienten wie die Geschwindigkeitswerte bezeichnen in charakteristischer Weise die mit der Betonung parallel gehenden Veränderungen der Energieentwicklung.

Die Textfig. 42b stammt von einer analogen Bewegung derselben Versuchsperson bei gleicher Bewegungszahl in der Minute, nur daß dieses Mal die Streckung betont ist. Die Geschwindigkeitskurven zeigen die entsprechenden Veränderungen; dieses Mal ist die Streckkurve die steilere und energischere.

Testzahlen:

	G.-B.	D.-G.	H.-G.	St.-Qu.
Beugung	57,5	3,8	13,5	1,1
Streckung (betont)	57,4	9,5	21,3	0,23

Die folgenden Figuren endlich zeigen die Veränderungen, welche eintreten, wenn die Bewegungszahl in der Zeiteinheit vermehrt wird. In diesem Falle wird der Zwang zu rhythmisieren stärker, und die Einflüsse der Rhythmisierung werden noch augenfälliger. Tafelfig. 63 gibt Kurven von Vp. J. mit einer Bewegungszahl von etwa 180 p. m. Die Beugebewegung ist betont und in dieser Eigenschaft in der Kurve noch mehr herausgehoben als das in den früheren Figuren der Fall war. Die Pause zwischen den Bewegungen verschwindet, und es beginnt fast unmittelbar nach der Beugung die Streckbewegung. Textfig. 43 ist die Geschwindigkeitskurve einer solchen Bewegung (Metronom etwa 180 p. m.). Die Unterschiede zwischen der betonten Beugung und unbetonten Streckung sind sehr bedeutend, größer als bei allen vorhergehenden Bewegungskurven der erörterten Gattung. Auch der unmittelbare Anschluß der Rückbewegung fast ohne Pause wird in der Kurve deutlich.

Testzahlen (z. Fig. 43):

	G.-B.	D.-G.	H.-G.	St.-Qu.
Beugung (betont)	53,5	10,7	20,0	0,24
Streckung	51,8	2,5	9,5	1,3

Die Nebeneinanderreihung der Zahlen demonstriert gleichfalls die großen Unterschiede in der Energieentwicklung von betonter und unbetonter Bewegung.



Fig. 43.

Geschwindigkeitskurve zu einer Hin- und Herbewegung aus der Serie von Tafelfig. 63.

In einer Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Abschnittes würden wir also folgendes festzuhalten haben:

Bei der fortlaufenden Ausführung ruckweiser Bewegungen treten gegenüber einmal gemachten neue Gesetzmäßigkeiten hervor, welche vor allem auf die Rhythmisierung der Vorgänge zurückzuführen sind. Als eine Wirkung der Rhythmisierung dürfen wir wohl schon die allgemeine Herabsetzung der motorischen Energie betrachten, welche bei diesen Bewegungen zwar hohe, nie aber so exzessive Grade erreichen kann, als sie einmalige Bewegungen entwickeln können. Diese Tatsache tritt besonders bei stark

motorischen Personen hervor. Zweifellos durch die Rhythmisierung bedingt sind aber Untersehiede der Energie im Verlaufe der Bewegungen, welche darin ihren Ausdruck finden, daß von den abwechselnd ausgeführten Beugungen und Streckungen immer jeweils die eine Bewegungsart stärker motorische Kurven liefert; und zwar sind jeweils die betonten Bewegungen (Beugungen oder Streckungen) die energischeren. Hand in Hand mit diesen Unterschieden der Energieentwicklung gehen zeitliche Verschiebungen, welche darin bestehen, daß die Tendenz hervortritt, die betonten Bewegungen sowohl, wie die rhythmisch zusammengehörigen von den nächstfolgenden abzutrennen. Diese Tendenzen können einander widerstreiten und sind deshalb, wenigstens bei ganz kurzen Rhythmen, nicht so eindeutig wie die Veränderungen der Energie. — Individuelle Unterschiede sind festzustellen, sowohl in der Art der Energieentwicklung bei diesen Bewegungen, wie in den Wirkungen der Rhythmisierung.

b. Fortlaufende durch Rückstoß gebundene Bewegungen.

Viel bedeutungsvoller als die durch Pausen unterbrochene fortgesetzte Ausführung ruckweiser Bewegungen sind in dem Getriebe unserer motorischen Maschinerie jene Kombinationen von Bewegungen, bei welchen die einzelnen Bewegungsteile aneinander gebunden sind. Wir haben das Bindemittel, das diese Teile unmittelbar aneinander fügt, bereits eingehend betrachtet. Aber wir haben bisher nur kennen gelernt, wie der Rückstoß zwei Bewegungen aneinander kettet. So isolierte Bewegungsverbindungen aber, wie sie von uns studiert wurden, sind im ganzen recht unnatürliche, lebensfremde Produkte des Experiments. Wo der Rückstoß bei unseren gewohnten Bewegungen in Funktion tritt, da bindet er im allgemeinen eine ganze Reihe von Bewegungen; auch solche komplizierteren Verhältnisse suchten unsere Eperimente zu erforschen.

Gestreift wurde diese Frage schon früher, wo in den Tafelfig. 13, 14 gezeigt wurde, wie ein dauerndes Hin- und Herpendeln des Fingers unter der Wirkung des Rüekstoßes sich von einer einmaligen Bewe-

gung mit Rückstoß unterscheidet. In den jetzt weiter zu besprechenden Untersuchungen bildete diese Form einer einfachen, ununterbrochen fortlaufenden Bewegung das Ziel einer etwas tiefer gehenden Analyse. Mußten doch unter diesen einfachsten Bedingungen weitere Gesetzmäßigkeiten der Bewegungskombination, sowie der Veränderungen unter fortlaufender Tätigkeit festzustellen sein. Die Versuchsanordnung war sehr einfach. Es wurde nur die Aufgabe gestellt, längere oder kürzere Zeit den Finger schnell »federnd« hin und her zu bebewegen, und zwar entweder mit maximaler Geschwindigkeit, oder ad libitum; es wurden ferner bestimmte Rhythmen für die Bewegung vorgeschrieben oder auch nach dieser Richtung Freiheit gelassen.

Schon bei Erörterung der Tafelfiguren 13, 14 ist auf einiges an einer solchen fortlaufenden »Pendel«-bewegung Auffallende hingewiesen worden. Der Unterschied von einer einfachen Rückstoßbewegung ist deutlich. Die Exkursionsweite wird dauernd geregelt, der Rückstoß an den entgegengesetzten Enden jeweils vorbereitet, und die ganze Kurve erhält gegenüber dem einmaligen Rückstoß eine andere Form. Es kann sich also bei diesen Bewegungen nicht um einen einfachen Rückstoß handeln, sondern die Rückstoßinnervation ist nur ein Glied in einer ganzen Reihe von Innervationen. Wir sprachen von der »Benutzung« des Rückstoßes oder von seiner »Überinnervation«, ohne daß freilich über die Art dieser Mechanismen irgend etwas Tatsächliches hätte ausgesagt werden können.

Allein, wenn wir auch hinsichtlich dieser mehr physiologischen Fragen uns vorläufig bescheiden müssen, so sind uns doch manche mehr psychologisch bedingte Erscheinungen schon jetzt etwas durchsichtiger.

Auch hier fällt zunächst auf, daß die Energieentwicklung hinter den exzessiven Werten, welche die am stärksten motorischen Personen bei Einzelbewegungen erreichen konnten, sehr zurückblieb. Die Gründe dafür liegen einerseits in den veränderten Innervationsverhältnissen, welche diese begrenzte und überinnervierte Rückstoßbewegung gegenüber der einmaligen Bewegung mit einfachem Rückstoß bietet, andererseits auch hier in der Modifikation der Einstellung nach der sensoriellen Seite infolge der Regelung einer solchen fortlaufenden Bewegung.

Als wesentliches Hilfsmittel dieser Regelung tritt auch hier der Rhythmus hervor.

Die Einflüsse der Rhythmisierung sind bei diesen fortlaufenden Rückstoßbewegungen infolge der schnellen Folge der Einzelbewegungen noch augenfälliger und unvermeidlicher, als bei den im vorigen Abschnitt besprochenen. Der Verlauf ist hier gleichfalls so, daß die Person, sobald sie nur etwas länger die Bewegung fortsetzt, irgend einen Rhythmus einzuhalten beginnt, auch wenn ihre Absicht keineswegs auf Rhythmisierung gerichtet ist. Besteht der Wille, den Einfluß dieser zu unterdrücken und die Bewegungen möglichst gleichartig auszuführen, so wird dieses Ziel im allgemeinen doch nicht erreicht. Es tritt zunächst ein regelloses Schwanken in der Betonung der Bewegungen ein, in welcher dann doch bald die Einhaltung einer bestimmten Reihenfolge sich durchzusetzen sucht.

Äußerlich trägt die Kurve fortlaufender[1]) Bewegungen sogleich die Zeichen der subjektiven Vorgänge der Rhythmisierung. Die Einzelkurven wechseln in der Größe ihrer Exkursion, der Steilheit und (wenn man die Ergebnisse der genaueren Messung hinzu nimmt) der Höhe der Geschwindigkeitswerte; und auch hier ist es sehr leicht festzustellen, daß die betonten Bewegungen die motorisch energischeren werden. In Tafelfig. 64 ist die Wirkung eines einfachen Betonungswechsels (⏗ ⏑) auf die fortlaufende Bewegung dargestellt. Wie etwas kompliziertere Rhythmen sich in der Bewegungsform widerspiegeln, wird aus den Tafelfig. 65 u. 66 (Vp. Mo.) ersichtlich. In der Bewegung der Fig. 65 wurden anapästische Taktfolgen (⏑ ⏑ ⏗) eingehalten; es wird in der Kurve sehr schön deutlich, wie die erste Bewegung unter der Betonung energischer, die zweite schwächer, die dritte wieder stärker motorisch wird, und die charakteristische Zeitverschiebung nach der stärkst betonten dritten Bewegung eine lange Pause vor dem Beginn des nächsten Taktes zeitigt. Ein anderes Bild stammt von einer im daktylischen Tempo (⏗ ⏑ ⏑) taktierten Bewegung derselben Vp. (Fig. 66). Hier ist die erste Bewegung die am stärksten motorische, die beiden nächsten fallen ab — bisweilen zeigt in solchen Fällen die dritte Bewegung wieder eine etwas ener-

1) Wir nennen der Kürze halber diese Rückstoßbewegungen »fortlaufende«, im Gegensatz zu den »fortgesetzten«, ruckweisen, welche im vorigen Abschnitte behandelt worden sind.

gischere Kurve, entsprechend den subjektiven Vorgängen bei solchen Taktierversuchen.

Das Auftreten unwillkürlicher Rhythmisierungen demonstrieren Tafelfig. 67, 68; bei dem ihnen zugrunde liegenden Versuch (Vp. J.) war die Aufgabe gestellt, in Absätzen fortlaufend zu zählen und zugleich Bewegungen auszuführen, und zwar wurden beim Zählen Gruppen gebildet, indem jedesmal eine Zahl zugefügt wurde, also eins, zwei; eins, zwei, drei; eins, zwei, drei, vier; usw. Die bei dieser Art der Ausführung der Bewegungen eintretenden Rhythmusverhältnisse und die damit zusammenhängenden Veränderungen der motorischen Energie werden in der Kurve gut kenntlich.

In Tafelfig. 69 haben wir ein Stück aus der Kurve einer fortlaufenden Bewegung, bei welcher die Versuchsperson (J.) das Gefühl hatte, im Takte von $^8/_8$ zu bewegen. Tatsächlich ist dieser Takt nicht eingehalten worden; es fanden sich nach der Registrierung auch reichlich Perioden von $^7/_8$ oder $^9/_8$ und sogar $^{10}/_8$. Überall aber sind die Perioden als solche deutlich kenntlich; ihren Schluß bezeichnet eine Pause und eine Ausholbewegung vor dem Beginn des nächsten Taktes. Innerhalb aber jedes einheitlichen Teils geben weitere Verschiedenheiten der Kurven Kunde von rhythmischen Einteilungen zweiten und dritten Ranges, wie sie für solche komplizierte Zusammenfassungen gewöhnlich sind.

Tafelfig. 44a endlich zeigt in einer Geschwindigkeitskurve die Verhältnisse bei einer fortlaufenden Bewegung (Vp. J.) etwas genauer. Es ist im $^8/_8$ Takt bewegt worden, wie an der Verlängerung der ersten und letzten negativen Kurve (= Vermehrung der Steilheit und des Umfangs des absteigenden Schenkels der Bewegungskurve) leicht warzunehmen ist. Auch sonst treten Schwankungen der Bewegungsverhältnisse in dieser Darstellung hervor. Im übrigen sind in dieser Figur auch Unterschiede zwischen Hin- und Rückwegen (Beugungen und Streckungen) merklich, wie das ja gewöhnlich ist. Die den letzteren entsprechenden Kurven sind etwas steiler (geringere Quotienten) und haben um ein geringes höhere Werte. — Besonders beachtenswert ist der steile Abfall der Kurven, vor allem der negativen; es wird eben gar nicht gebremst, sondern der Rückstoß beendet die eine Bewegung und leitet sogleich in ihren Widerpart über. Es scheint übrigens für die Unterschiede der Steilheit der Kurven

und der Rückstoßverhältnisse von Bedeutung zu sein, wo die willkürliche Regelung der ganzen Bewegung liegt. Die Selbstbeobachtung zeigt, daß man nur eine Art der Bewegung willkürlich betont (in dem vorliegenden Falle die Beugung) und daß alles übrige ganz mechanisch und fast unbewußt abläuft. Doch kann diese Frage nur angedeutet werden (vgl. S. 180).

So weit lieferten unsere Versuche Hilfsmittel für das Verständnis der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten fortlaufender Bewegungen; auch hinsichtlich der Erkenntnis individueller Unterschiede sind einige Ergebnisse gewonnen worden.

Von den Geschwindigkeitsverhältnissen ist im allgemeinen bemerkt worden, daß die exzessiven Grade, welche die am stärksten motorisch reagierenden Personen bei Einzelbewegungen entwickelten, bei diesen fortlaufenden Bewegungen nie erreicht wurden. In der Regel war bei allen Versuchspersonen die Geschwindigkeit der fortlaufenden Bewegungen geringer als die bei den schnellsten Einzelbewegungen derselben Personen. So lieferte z. B. die extrem motorische Vp. J. kaum je höhere Höchstgeschwindigkeiten als etwas über 20, während sie in den Reaktionsversuchen eine durchschnittliche Höchstgeschwindigkeit von 39 gezeigt hatte. Dagegen ist besonders zu erwähnen, daß Sp. und Mo., welche bei den Reaktionsexperimenten durchschnittliche Höchstgeschwindigkeiten von 16—18 lieferten, in diesen Versuchen oft über 20 hinausgingen. Es darf diese Tatsache wohl auf eine »Anregung« zurückgeführt werden, welche sowohl aus der fortlaufenden Leistung, wie aus den Wirkungen der Rhythmisierung entsprang. Im ganzen ist jedoch nicht zu verkennen, daß bei diesen fortlaufenden Bewegungen eine Nivellierung eintrat von Differenzen, welche bei den extremen Einstellungen der Reaktionsversuche deutlich waren.

Dagegen ist eine besondere Eigenschaft der fortlaufenden Bewegungen als solcher zu erörtern, welche schon seit längerer Zeit als exquisites, individualpsychologisches Hilfsmittel betrachtet worden ist. Seit der Arbeit von v. Kries[1]) hat sich eine Anzahl von Forschern mit dem Problem der Geschwindigkeit fortlaufender Bewegungen beschäftigt. Gemessen wurde diese Geschwindigkeit an der Zahl der

---

1) Arch. für Anat. und Physiol. 1886 Suppl.

Bewegungen, welche bei maximaler Schnelligkeit hintereinander in der Zeiteinheit ausgeführt wurden. Die Physiologen interessierte dabei vor allem die Frage, wie schnell Willkürzuckungen aufeinander folgen könnten. Allein bei der Fortsetzung dieser Versuche (Bryan, Woodworth, Davis, Dressler)[1]) traten auch bald Ergebnisse zutage, welche psychologische Bedeutung hatten. Es erwies sich nämlich nach diesen Untersuchungen, daß die Zahl der in einer Zeiteinheit ausgeführten Bewegungen eine individuelle Konstante bildete, daß sie mit dem Alter der Individuen und der Übung derselben zunahm, daß Ermüdung sie herabsetzte, und daß der Wechsel psychischer Zustände einen merklichen Einfluß auf die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge von Bewegungen entfaltete. Es ist deshalb die Wiederholung von Bewegungen als ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für die Feststellung persönlicher Unterschiede empfohlen worden. Meistens wurde für diese Zwecke das »Taktklopfen« mit der Hand oder mit dem Finger angewandt. So hat Stern[2]) die Tempoklopfmethode als ein wertvolles Hilfsmittel für die Untersuchung des Ablaufs der geistigen Frische empfohlen. Und Kowalewski[3]) hat die Methode des Taktklopfens und Takthüpfens zur Kennzeichnung von Gemütszuständen benutzt. Ferner hat kürzlich Reichardt[4]) — allerdings nicht bei fortlaufenden, sondern bei aneinander gereihten Einzelbewegungen mit Rückstoßunterdrückung — auf die in der Zeiteinheit geleistete Bewegungszahl als individuelle Konstante hingewiesen. Und schließlich hat ganz neuerdings Wells[5]) im Anschluß an die von Kraepelin und seiner Schule ausgebildeten Methoden zur Untersuchung von Arbeit und Ermüdung den Klopfversuch (Tapping-Test) für individualpsychologische und psychopathologische Zwecke nutzbar zu machen gesucht.

Unsere Versuchsanordnungen ermöglichten es, auch zu diesen Fragen Stellung zu nehmen, und zwar in eingehenderer Weise, als

---

1) Literaturzusammenstellung bei Woodworth, Le Mouvement. Paris 1903 S. 338 ff. und bei Wells, Am. Journ. of Psychol. XIX. 1908.

2) Psychol. der individ. Differenzen (Leipzig 1900) S. 122; ders.: Ber. über den I. Kongreß für exper. Psychol. Leipzig 1904, S. 75.

3) Studien zur Psychol. des Pessimismus (Löwenfelds Grenzfragen XXIV). Wiesbaden 1904, S. 38 ff.

4) Allg. Zeitschr. für Psychiatrie 66, S. 163.

5) Amer. Journ. of Psychol. XIX, 08, S. 345 ff.; XX. 09, S. 48 ff.

es durch die bloße Auszählung der ausgeführten Bewegungen geschieht, da in unseren Versuchen ein Überblick über den gesamten Ablauf der fortlaufenden Bewegung gegeben wurde. Ich stelle somit einiges aus den Ergebnissen der Versuche zusammen.

Ein Vergleich der von den einzelnen Personen geleisteten Bewegungszahl pro Sekunde wird in der folgenden Tabelle gegeben. In ihr sind zur weiteren Orientierung über die Form der Bewegung auch die Höhen der Erkusionen im Durchschnitt beigefügt:

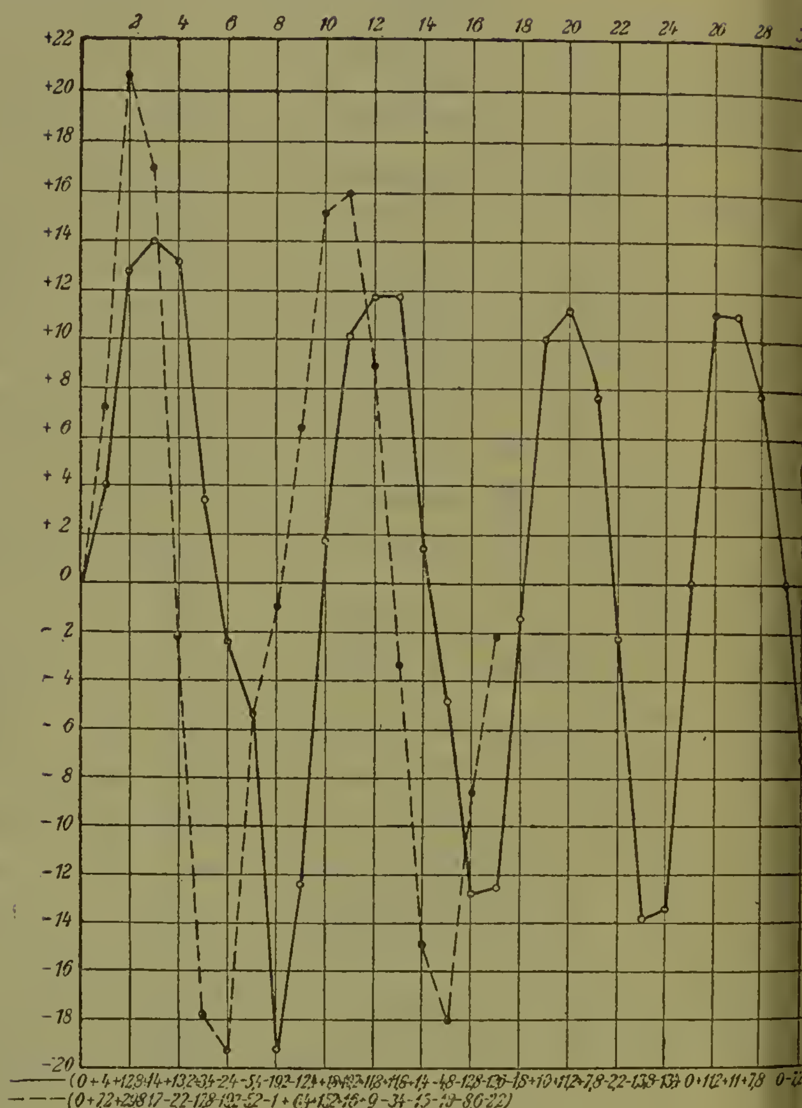
Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß individuelle Differenzen hinsichtlich der Zahl der von den einzelnen Personen in der Zeiteinheit gemachten fortlaufenden Bewegungen tatsächlich bestehen. Bei den in großen Zeitabständen untersuchten Versuchspersonen J., Mo., Ka., werden solche Konstanten deutlich. J. leistet 4—5 Hin- und Rückbewegungen in der Sekunde, Mo. 3—4, Ka. 3—3½. Dabei ist festzustellen, daß bei all diesen Versuchen die Geschwindigkeit ad libitum der Versuchsperson stand; es war ihr frei gegeben zu bewegen, wie es ihr »paßte«. Bei dieser Art der freien Leistung traten also individuelle Unterschiede hervor, welche, wenn man größere Zeitabschnitte vergleicht — etwa halbe oder ganze Minuten —, nicht unbeträchtlich sind. Eine eindeutige Beziehung zwischen der Höhe der Exkursion (G. B.) und der Zahl der gemachten Bewegungen tritt nicht hervor. Die Zahl erscheint unabhängig von den Veränderungen der Höhe sowohl beim Vergleich der Bewegungen des Einzelindividuums, wie der verschiedener Personen. Diese Tatsache entspricht dem gesetzmäßigen Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Weg, welches bereits früher festgestellt wurde. Dadurch kann die Bewegungszahl innerhalb gewisser Grenzen bei wechselndem Weg konstant erhalten werden.

Es lassen sich auch keine Beziehungen feststellen zwischen den im Reaktionsversuch hervortretenden individuellen Unterschieden der Energie und der bei den fortlaufenden Bewegungen festgestellten Bewegungszahl. Es besteht nicht etwa die Regel, daß nur die Versuchspersonen mit motorisch energischen Bewegungen hohe Werte für die Zahl der fortlaufenden Bewegungen erreichen, oder umgekehrt. Nach unserer Zusammenstellung hat die extrem motorische Vp. J. keine wesentlich höhere Bewegungszahl als die extrem sensorische Vp. Sp. Diese Tatsache ist nicht

Vp. und Datum	Zahl der Bewegungen[1]) pro Sek.	Durchschnitt des Umfangs der Gesamtbewegungen in mm
J. 10. VI. 07	5	40
J. 16. VI. 07	5	35
J. 19. VI. 07	$4^1/_2$	42
J. 6. X. 08	$4^1/_4$	50
J. 6. X. 08	$4^1/_4$	45
J. 9. X. 08	4	37
J. 15. XII. 08	4	33
Mo. 15. IV. 08	$3^1/_4$	60
Mo. 19. IV. 08	4	53
Mo. 15. IV. 08	$4^1/_4$	62
Mo. 15. IV. 08	$3^1/_2$	55
Mo. 9. VII. 08	$4^1/_4$	52
Mo. 29. VII. 08	4	50
Ka. 14. XI. 08	$3^1/_2$	62
Ka. 4. XII. 08	3	70
Ka. 7. XII. 08	$3^1/_2$	72
Tr. 9. X. 08	$3^1/_2$	28
Al. 8. VI. 08	$4^1/_2$	58
Sp. 15. VII. 07	$4^1/_2$	27
B. 6. X. 08	$4^1/_2$	31
B. 7. X. 08	4	52

1) Es wird als eine die vollständige (Hin- und Rück-) Bewegung gezählt.

G.-B.	= — 39,4	— 29,6	— 29,4	—
D.-G.	= — 10	— 7,5	— 9,0	—
H.-G.	= — 19,2	— 12,8	— 13,8	—
St.-Qu.	= 0,2	0,3	0,2	

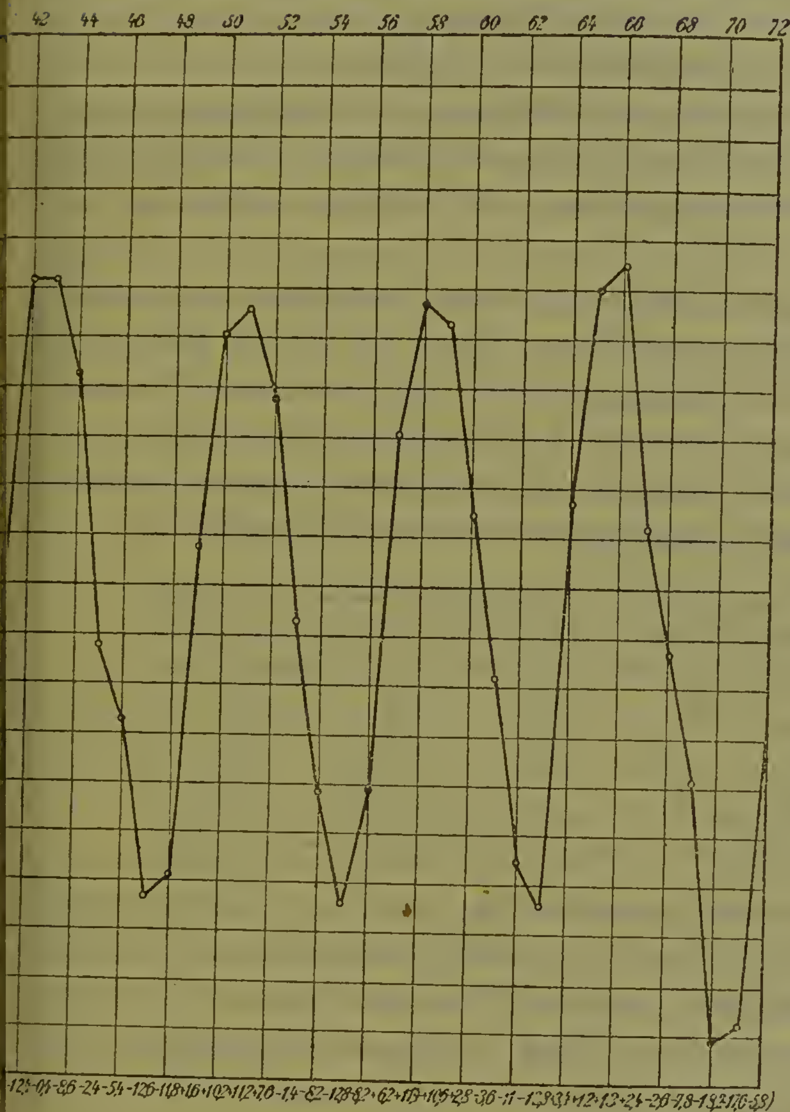


—— =	G.-B.	= 46,4	37,0	29,6	30,0
	D.-G.	= 9,0	7,4	9,8	10,0
	H.-G.	= 14,0	11,8	11,2	11,2
	St.-Qu.	= 0,35	0,4	0,3	0,3

--- =	G.-B.	= 45,0	46,6
	D.-G.	= 15,0	11,6
	H.-G.	= 20,8	16,0

Geschwindigkeitskurv

— 20,4	— 31,6	— 27,4	— 52,4
— 5,0	— 8,5	— 9,0	— 10,5
— 12,6	— 12,8	— 12,8	— 18,2
0,3	0,3	0,23	0,2



33,8	30,6	31,0	30,8
8,2	7,5	7,7	7,5
12.4	11,2	11,4	13,0
0,3	0,32	0,36	0,3

…egungen. Vp. J.

überraschend, weil erstens auch die extrem motorischen Personen in der fortlaufenden Bewegung nicht die ihnen bei den Reaktionsbewegungen eigentümlichen höchsten Grade motorischer Energie entwickeln, weil andererseits die im Reaktionsversuch wenig energischen Personen in der Anregung der fortlaufenden Bewegung relativ hohe Werte erreichen können, und weil endlich der Parallelismus von Geschwindigkeit und Weg es ermöglicht, auch bei geringeren Geschwindigkeiten durch Verkleinerung der Gesamtexkursion dieselbe Bewegungszahl wie bei größeren Geschwindigkeiten mit größeren Amplituden zu erreichen.

Einen etwas genaueren Einblick in diese Verhältnisse möge noch eine Übersicht über die wesentlichsten Werte bei den im Gegensatz zueinander stehenden Versuchspersonen J., Mo., Sp. geben. Es sind in der folgenden kleinen Tabelle für diese Personen einerseits die Testzahlen für die motorische Energie, andererseits die Bewegungszahlen (alles in Durchschnittsberechnungen) nebeneinander gestellt:

	G.-B.	D.-G.	H.-G.	St.-Qu.	Bewegungszahl
J.	41	10	17	0,27	4½
Sp.	27	8,5	14	0,21	4½
Mo.	54	8	14	0,35	3¾

Es wird in dieser Tabelle deutlich, wie Vp. Sp., welche geringere Geschwindigkeiten hat als Vp. J., den Weg herabsetzt, um dieselbe Bewegungszahl zu erreichen, während Vp. Mo., welche bei ebenso geringen Geschwindigkeiten den Weg verlängert, dementsprechend verkleinerte Bewegungszahlen liefert.

Aber auch bei einem Vergleich der Bewegungen ein und derselben Person wird offenbar, daß die Bewegungszahl nicht in einem Abhängigkeitsverhältnis von der motorischen Energie steht. Textfig. 44b ist die Geschwindigkeitskurve eines Teiles einer fortlaufenden Bewegung von Vp. J., von welcher auch Fig. 44a stammt; die Unterschiede der motorischen Energie beider Kurven sind beträchtlich, trotzdem haben beide Kurven genau dieselbe Bewegungszahl, nämlich 5 per Sekunde.

Wir können aus diesen Tatsachen schließen, daß Bewegungszahl

und Bewegungsenergie Größen sind, welche verschiedene psychologische Grundlagen haben. Die Bewegungszahl ist natürlich nicht völlig unabhängig von der Bewegungsenergie; gewisse Geschwindigkeiten müssen schon erreicht werden, damit eine bestimmte Zahl von Bewegungen in der Zeiteinheit gemacht werden kann. Aber wir haben gesehen, daß die Geschwindigkeiten der fortlaufenden Bewegungen sich überhaupt in mittleren Grenzen halten. *Was die Bewegungszahl charakterisiert, ist ein ryhthmisches Element und wenn wir motorische Energie und Bewegungszahl als persönliche Konstanten unterscheiden können, so ist es dieses letztere Element, welches die Grundlage der Unterscheidung bildet.*

Allein, wenn hier die Bewegungszahl als persönliche Konstante neben die motorische Energie gestellt wird, so muß doch der Hinweis gemacht werden, daß die Bewegungszahl keineswegs einen solchen Grad der Sicherheit als individuelle Eigenart besitzt, wie die Form und Energie der Bewegungskurve. Die von uns über fortlaufende Bewegungen angestellten Versuche sind allerdings nicht zahlreich genug, um wirklich abschließende Urteile in dieser Frage begründen zu können. Dazu wird es nötig sein, eine Anzahl von Personen Monate hindurch täglich mehrmals in der angegebenen Weise auf ihre fortlaufenden Bewegungen hin zu untersuchen. So viel ging aber auch schon aus unseren Versuchen hervor, daß die Bewegungszahl immerhin nicht unbeträchtlichen Schwankungen unterliegt. Schon bei den oben angegebenen Werten sind die Schwankungen nicht unwesentlich, wenn auch dadurch die Unterschiede zwischen den einzelnen Personen nicht verwischt werden konnten. Aber es ist zu berücksichtigen, daß die erörterten Versuchsresultate im wesentlichen nur von *einer* Art der fortlaufenden Bewegung stammten. Bei all diesen Aufforderungen, schnell zu bewegen, wurde die Bewegung gewöhnlich im $^4/_4$ oder im $^8/_8$ Takt ausgeführt. Dabei traten dann die erörterten Resultate zutage. Diese fielen aber durchaus anders aus, wenn, wie es bisweilen vorkam, die Versuchspersonen einen anderen wesentlich abweichenden Rhythmus benutzten, z. B. ◡ ◡ –́. Dann wurden die Bewegungszahlen bei manchen Personen sofort ganz andere, z. B. leistetete Vp. J. im anapästischen Rhythmus nur 3 Bewegungen p. Sek., während Mo. auch in dieser Taktart

bei ihren 3 bis $3^1/_2$ Bewegungen p. Sek. verharrte. Es zeigte sich also, wie sehr diese Konstante von der Rhythmisierung abhängt; und sie müßte, wollte man sie genauer kennen und verstehen, noch bei den einzelnen Versuchspersonen in ihrer jeweiligen Abhängigkeit von dem gewählten Rhythmus systematisch untersucht werden.

Das aber hindert nicht, zuzugestehen, daß wir aller Voraussicht nach in der Bewegungszahl ein für mannigfache Zwecke der differentiellen Psychologie brauchbares Maß vor uns haben, ein Maß, das, wie besonders auch die Versuche von Wells gezeigt haben, mit genügender Feinheit reagiert, um für den Nachweis von mancherlei individualpsychologischen und pathologischen Veränderungen verwendet zu werden. Dabei kann die Einfachheit der Methode sie gewiß nur empfehlen.

In den bisherigen Erörterungen über die Bewegungszahl sind nur Versuche mit fortlaufenden Bewegungen behandelt worden, bei welchen einzig die Instruktion erteilt war, schnell zu bewegen, alles übrige wurde der Versuchsperson freigegeben. Solche Versuche können, wie es scheint, ganz zweckmäßig sein, für die summarische Prüfung der allgemeinen psychischen Energie und der Veränderungen derselben. Für das Ziel einer genaueren Feststellung des Ablaufs psychischer Leistungen und für die Verwendung zur Erforschung des Arbeitsproblems, sind die Versuche in dieser Form nicht geeignet. Für solche Zwecke muß der Versuch mit fortlaufender Bewegung unter der Forderung maximaler Leistung durchgeführt werden. In dieser Form hat Wells den Klopfversuch zur Feststellung des Arbeits- und Ermüdungsvorganges bei Gesunden und Kranken verwendet und sehr brauchbar befunden. In analoger Weise suchten unsere Untersuchungen in einer Reihe vorläufiger Experimente durch Kontrolle des ganzen Bewegungsablaufs die Einflüsse der Arbeit und Ermüdung etwas genauer zu erkennen.

Zunächst fällt bei solchen Versuchen auf, daß die Bewegungszahl ganz wesentlich höher ist, dabei tritt bei längerer Fortsetzung der Tätigkeit gleich die Abnahme der Bewegungszahl im Verlauf der Bewegung deutlich hervor. In der ersteren Erscheinung haben wir eine Wirkung der Einstellung auf die Instruktion und des Antriebs, in der zweiten ohne Zweifel eine Ermüdungswirkung. Bei der ad libitum ausgeführten schnellen Bewegung können wir eine so

wesentliche Abnahme der Bewegungszahl nicht feststellen. Sie bleibt auch bei längerem Verlauf ziemlich konstant. Die ad libitum-Einstellung bei der fortlaufenden Bewegung ist also eine solche, welche Ermüdungswirkungen möglichst vermeidet. Man hat sie darum wohl mit Recht als reine Ausdrucksmethode für seelische Zustände betrachtet und angewendet. Die fortlaufende Bewegung bei maximaler Anspannung ist nicht nur eine Ausdrucksmethode, sondern sie ist vor allem auch eine Arbeitsleistung und spiegelt die Gesetze einer solchen.

Es soll nicht unsere Aufgabe sein, sie in diesem Sinn weiter zu prüfen und zu verwerten, wie es von Wells unter bloßer Berücksichtigung der Bewegungszahl geschehen ist. Uns ist zunächst daran gelegen, einige Einblicke in die Gesetzmäßigkeiten der fortlaufenden Bewegung im Verlaufe der Arbeitsleistung zu gewinnen.

In der nächstfolgenden Tabelle H. ist eine allgemeine Übersicht gegeben über den Verlauf der Veränderungen der Bewegungszahl und der Bewegungshöhe während der Dauer der fortlaufenden Bewegung. Es ist in ihr für jede Person und Versuchsreihe einerseits eine Zusammenstellung gemacht der Zahl der in jeder Sekunde ausgeführten Bewegungen, andererseits jeweils in der Zeile darunter der durchschnittliche Umfang dieser in jeder Sekunde gemachten Bewegungen gegeben. Am Schluß jeder Reihe ist die Summe der Zahlen der ersten Hälfte der Reihe neben die Summe der zweiten Hälfte gesetzt. (Zum Vergleich mit den kürzeren Reihen sind aus den längeren Ermüdungsreihen auch entsprechende kürzere Abschnitte berechnet worden und an den zugehörigen Stellen aufgezeichnet.)

In den ersten drei Kurven treten weder in den Werten der Bewegungszahl noch der durchschnittlichen Höhen Veränderungen hervor, welche auf Ermüdung schließen lassen. Es sind das »legere« Bewegungen, bei denen die Person in ihr beliebendem Tempo Fingerbewegungen machte. (Bei Versuch 3 war aufgefordert worden, ein langsames Tempo zu wählen; die Aufforderung ist befolgt.) In Serie 5—7 sind schon Abnahmen der Umfangswerte merklich, aber noch nicht beträchtlich. Stärker werden sie in Nr. 8 und 9, um endlich in Reihe 10 und 11 recht hohe Grade zu erreichen. Der Umfang verringert sich in Reihe 11 von 49 bis auf 14, in Reihe 10 gar von 39 bis auf 4. (Der Vergleich der in den Versuchshälften gemachten Leistungen

zeigt entsprechende große Unterschiede.) In dieser letzteren Serie 10 war allerdings der Ermüdungsversuch auf $2^1/_2$ Minuten ausgedehnt worden; die Tabelle zeigt die Resultate der ersten und letzten $^1/_4$ Minute. Die Bewegungszahlen weisen nur in Serie 10 und 11 merkliche Abnahmen der Werte auf, bedeutend sind diese Verringerungen auch da noch nicht. Es geht also aus diesen Versuchen hervor, daß bei der fortlaufenden Bewegung der Umfang der Exkursion sehr viel schneller auf die Ermüdung reagiert als die Bewegungszahl. Wie aus Reihe 7 und 8 erhellt, tritt diese Abnahme der Umfangswerte auch dann ein, wenn von vornherein (es war hier besondere Instruktion nach dieser Richtung erteilt) die Exkursionen verhältnismäßig gering sind. Im allgemeinen herrscht ja die Tendenz, wenn die Geschwindigkeiten beträchtlich sind, den Weg größer werden zu lassen. Doch bestehen, wie schon mehrfach erwähnt, individuelle Differenzen hinsichtlich der Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Weg. Auch bei diesen fortlaufenden Bewegungen sind uns schon solche begegnet, welche bei mäßigen Geschwindigkeiten relativ große Exkursionen hatten. Niemals aber waren — wenigstens so weit zurzeit unsere Erfahrung reicht, und sie stützt sich auf eine nicht unbeträchtliche Anzahl von Versuchen — die Exkursionen so klein, daß sie im Verlauf des Ermüdungsversuchs keine Abnahme gezeigt und diese nur in der Abnahme der Bewegungszahl sichtbar gewesen wäre. Vielmehr ist es wohl nach den vorliegenden Erfahrungen berechtigt, die Sätze aufzustellen: Bei maximal schnellen fortlaufenden Bewegungen äußert sich die Ermüdung zunächst in einer Abnahme des Umfangs der Bewegungsexkursion, welcher schnell sehr beträchtlich absinkt. Erst wesentlich später tritt eine merkliche Abnahme der Bewegungszahl ein. Es treten also bei einem derartigen Versuch zwei Indikatoren der Ermüdung hervor. Der eine sehr fein reagierend, schnell auftretend, aber auch schnell unbrauchbar werdend, der zweite langsamer sich entwickelnd, aber für die Verfolgung längerer Arbeitszeiten brauchbar. Da es nicht die Absicht dieser Ausführungen war, das Arbeitsproblem mit Hilfe der fortlaufenden Bewegung zu studieren, so können weitere Klärungen der Beziehungen zwischen Umfangsabnahme und Verringerung der Bewegungszahl im Verlauf der fortlaufenden Bewegung späteren Unter-

suchungen überlassen werden. Hier mag es genügen, auf die Divergenz der Veränderungen der beiden Momente hingewiesen zu haben. Sie wird sich vielleicht für die weitere Erforschung des Arbeitsproblems nützlich erweisen können und ist gewiß nicht ohne allgemein psychologisches Interesse. Das rhythmische Moment ist das zäher festgehaltene, den Einflüssen der Ermüdung weniger zugängliche. Es ist das affektiv betonte und bezeichnet zugleich eine Gesetzmäßigkeit der Verteilung, der Disposition der ganzen Leistung. Darum treten andere Faktoren hinter ihm zurück und werden so modifiziert, daß es erhalten bleibt.

Es sind nun noch einige Bemerkungen zu machen über die genauere Form der Ermüdungskurve bei der fortlaufenden Bewegung. Hier sind sehr schöne experimentelle Untersuchungen zu nennen, welche von Binet und Vaschide gemacht worden sind[1]. Diese Forscher ließen schnelle fortlaufende Bewegungen am Ergographen ausführen bei leichter Belastung (1 kg). Nach ihren Versuchen war die Abhängigkeit der Länge der Kurven von der Fingerlänge wenig bedeutend (bei unseren sämtlichen Versuchen erwies sie sich als überhaupt nicht vorhanden, zumal wir Winkelgeschwindigkeiten maßen), dagegen machte sich der Einfluß einer mehr intentionellen Einstellung bemerkbar, indem manche Personen angaben, möglichst kurze Bewegungen gemacht zu haben, um möglichst zahlreiche in der Zeiteinheit machen zu können. Wie wir gesehen haben, trifft diese Regel auch für unsere Versuche zu, insofern die Bewegungen im Verlaufe der Ermüdung schnell kürzer werden, während die Bewegungszahl zunächst erhalten bleibt. Dagegen gibt es, wie gesagt worden ist, Personen, die bei Beginn der Bewegung bei relativ umfangreichen Exkursionen große Bewegungszahlen, dieselben Zahlen wie andere Personen mit von vornherein kleineren Exkursionen liefern. Dieser Erfolg wird von den Personen erreicht durch die Entwicklung einer höheren Geschwindigkeit im Ablauf der Einzelbewegung. Im Verlauf der Ermüdung jedoch, welche die Entwicklung hoher Bewegungsgeschwindigkeiten verhindert, kann die Bewegungszahl nur festgehalten werden durch Herabsetzung der Bewegungsexkursion.

---

1) Année psychologique IV, p. 267 ff.

Auch Binet und Vaschide konstatierten in ihren Untersuchungen bei längeren Reihen die Tendenz in der Exkursion der Bewegungen kleiner zu werden. Der Umfang der Exkursionen konnte im Verlauf länger dauernder Reihen bis auf ein Drittel oder ein Viertel des ursprünglichen Betrages herabsinken. Die Bewegungszahl betrug in den Versuchen von B. und V. 3—5 B. p. Sek., auch sie nahm im Verlauf der Ausdehnung der Versuche dauernd ab. — Besonders zu vermerken sind zwei weitere Erscheinungen, welche im fortlaufenden Bewegungsversuch von Binet und Vaschide beobachtet worden sind. Die erste ist die dauernde Abhebung der Kurven von der Abszisse; die Bewegungen werden, wie bemerkt, in ihrem Umfang immer kleiner, dabei reichen sie immer weniger an die ursprüngliche Basis heran. Das zweite Phänomen bezeichnen die Forscher als das der »aktiven Pause«. Es besteht darin, daß bei der schnellen fortlaufenden Bewegung die Pause zwischen Kontraktion (Beugung des Fingers) und Erschlaffung (Streckung desselben) länger ist als zwischen Erschlaffung und Kontraktion. Es würde das also besagen, daß auf der Höhe der schnellen Bewegung der Finger Neigung hat gebeugt zu bleiben. Der Bewegungsversuch soll sich in dieser Hinsicht vom gewöhnlichen Ergographenversuch unterscheiden, bei welchem der Finger unmittelbar von der Beugung in die Streckung überzugehen pflegt. — Die Erscheinung ist von den Forschern aus dem Vergleich der »Winkel«, welche die Kurven an den einander gegenüberliegenden Polen bilden, erschlossen. — Nach Binet und Vaschide kommt es im Verlauf der schnellen fortlaufenden Bewegung immer weniger zur völligen Erschlaffung des Fingers. »Les expériences de vitesse ont une tendance a produire de la contracture« (l. c. S. 274). Die »diminution de l'amplitude« ist bedingt durch die »difficulté éprouvée par le muscle de se contracter.« Und »l'allongement de la pause active, c'est à dire la prolongation de l'état de contraction est déjà une ébauche de contracture.« Die Abhebung endlich von der Abszisse soll zeigen, daß der Muskel nicht mehr erschlaffen kann. Die Kontraktur bilde den Ausdruck der Ermüdung beim Geschwindigkeitsversuch. Bei der Ergographenarbeit resultiere mit der Ermüdung die Unmöglichkeit den Finger zu heben, bei der schnellen fortlaufenden Bewegung bilde die Dauerkontraktur das Ende. Hier soll die Vielfachheit der Reize, welche den Muskel

Tabelle H.

Bewegungszahl und Bewegungsumfang im Verlauf der fortlaufenden Bewegung (Zahlen pro Sekunde).

	a = Kurvenzahl b = Durchschn.-Bewegungsumfang	Sekunde																																		Summe der Werte in beiden Zeithälften des Versuchs
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
1. J. fortlaufd. 14. XII. 08. Instr. langsam	a	3	2¾	2½	2½	2¼	2½	2½	2½	2½	2¼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13, 12¼
	b	32,7	32,2	33,5	31,3	32,5	31,3	30,0	30,7	31,0	31,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	162.3, 154,0
2. J. » 19. VI. 07.	a	5	4½	4¾	4½	4	4¾	4	4¼	4	4	4¼	5	4½	4½	4½	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33½, 32¾
	b	33,6	38,3	39,5	46,6	44,7	39,2	41,5	40,0	45,2	44,5	35,7	42,6	48,6	49,2	42,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	303,4, 328,0
3. J. » 14. XII. 08.	a	5¾	5¼	5¼	5	5	5¼	5	5	5	4¾	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28¾, 27¼
	b	49,1	48,2	49,4	50,0	50,0	49,3	50,2	49,6	48,8	51,5	48,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	271.3, 272,9
4. J. » 9. X. 08.	a	5	4	4½	4½	4	4	4	4	4½	4	4	4	4	4	4	4	4¼	3¾	4	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44½, 42
	b	37,6	38,0	38,8	37,5	37,5	38,2	38,0	38,7	36,6	37,5	37,2	36,5	34,5	34,2	35,2	36,2	35,0	36,5	36,5	32,7	34,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	397,0, 370,1
5. B. » 6. X. 08.	a	4¾	4½	4¾	4¾	4¾	4½	4¾	4¾	4½	4¾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23½, 23¼
	b	33,4	34,2	32,8	33,0	30,2	31,2	28,0	29,5	28,2	30,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	163.6, 147,3
6. B. » 7. X. 08.	a	4	4	4	4	4	4¼	4¼	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18, 18½
	b	53,0	54,2	53,2	50,1	52,2	50,0	52,8	57,2	47,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	236,6, 233.7
7. J. fortlaufd. »kurz« 10. XII. 08.	a	6½	6	5¾	5¾	6	5¾	5½	5¾	5½	5½	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32¾, 31
	b	33,1	29,0	24,0	23,1	23,6	24,6	23,2	20,8	22,3	21,8	20,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	145,1, 121.2
8. Tr. schnell, »kurz« 10. XII. 08.	a	5¾	5¼	5	4½	4¾	5¼	5½	6¼	5¾	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25¼, 25¾
	b	23,0	27,4	31,0	29,0	24,4	23,6	19,5	20.6	18,6	15,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	134,8, 97,4
9. Tr. B. fortlaufd. 28. IV. 08.	a	6	5¼	6¼	5¾	5¾	5¾	5¼	5¾	5¾	5½	5¼	5¾	6¼	6	6	5½	6	5½	5½	5¼	5½	5½	5¼	5¾	5½	5¼	5¼	5½	5½	5	5¾	5¼	5½	6¾	97¾, 93[illegible]
	b	37,7	38,0	34,8	39,0	(184,6) 35,2	34,2	34,2	(258,9) 31,8	32,0	(166,2) 34,0	36,6	33,4	30,5	27,5	18,6	(242,6) 30,0	23,8	32,5	30,6	33,6	31,6	29,6	29,4	28,1	25,4	22,6	24,8	23,6	25,6	24,6	22,2	25,5	25,0	26,0	551,2, 460,7
10. B. sehr schnell, Ermüdg. 28. IV. 09.	a	6¼	6¾	6½	6½	6½	6½	6	6¼	6	6	6¼	5½	6	5½	6	—	6	6	6	6½	5½	6	5½	6¼	5¾	6	5½	5½	5½	5½	6	—	—	—	92½, 87½
	b	38,8	31,7	33,1	23,6	27,5	30,1	(233,8) 32,3	31,8	(220,2) 27,5	28,8	30,5	39,4	30,0	33,0	24,1	—	9,6	9,8	10,6	9,0	5,1	6,3	6,6	5,5	6,1	7,4	5,8	6,0	6,2	6,8	4,6	—	—	—	462,2, 106,4
11. J. sehr schnell, Ermüdg. 17. IV. 09.	a	6¾	6	6¾	6¼	5¾	6	5¾	6	5½	5½	5½	5¾	5¼	5	5¼	5¼	5	5	5	5	5	4¾	5	4¾	4¾	4¾	4¾	4¾	4½	4½	4½	4¾	5¼	—	94¾, 79½
	b	43,0	47,3	48,0	49,3	(228,4) 40,8	44,8	39,3	(331,9) 38,8	33,8	(193,7) 37,0	33,3	32,6	23,3	24,6	30,4	(237,3) 23,2	23,8	23,6	19,2	23,2	22,8	17,8	16,6	20,4	13,2	16,2	18,0	19,8	21,5	18,0	17,5	13,4	14,4	—	601.4, 307,5

sich bald kontrahieren, bald erschlaffen läßt, die erhöhte Reizbarkeit bedingen.

So weit die wesentlichsten Ergebnisse von Binet und Vaschide, welche festzuhalten sind für die Erörterung der in unseren Versuchen mit fortlaufenden Bewegungen gewonnenen Resultate. Die Tafelfig. 70 bis 73 u. 74—78 zeigen Bruchstücke aus Versuchsserien, bei welchen die fortlaufende Bewegung unter maximaler Geschwindigkeit ausgeführt wurde (Ermüdungsversuch). In der Serie, aus welcher die Figuren 70ff. entnommen sind (Vp. J.), war 34 Sekunden lang fortdauernd bewegt worden; bei derjenigen, zu welcher die Figuren 74ff. gehören (Vp. B.), war nach 15 Sekunden bei stehendem Kymographion eine Minute weiter bewegt und dann weitere 18 Sekunden aufgeschrieben worden. Die Fig. 70—73 zeigen somit die Bewegung in ihrer 1., 11., 21. und 34. Sekunde (diese letztere befindet sich über der Anfangskurve). Die Fig. 74—78 geben Bewegungsbilder aus der 1., 11., 77., 80. und 92. Sekunde. Die Besonderheiten des Verlaufes der Bewegung sind in diesen Bildern besonders nach zwei Richtungen hin augenfällig. Es tritt erstens sehr deutlich hervor die Abnahme der Bewegungshöhe (Exkursion, Amplitude) und ist zweitens ohne weiteres feststellbar das Auftreten von Abflachungen (Kuppen) im Verlauf der Ermüdung. Über die erstere Erscheinung (die Höhenabnahme) und ihre Gesetzmäßigkeit ist bereits bei Erörterung der Tabelle H einiges wichtig Erscheinende gesagt worden. Das zweite Phänomen ist aber so auffallend, daß es hier noch weiter mit einigen Worten behandelt werden muß. Das Eigenartige des Bildes der fortlaufenden Bewegung bei der Ermüdung ist, daß die Exkursionen nicht einfach abnehmen, sondern daß im Verlauf dieser Abnahme des Bewegungsumfangs zugleich Abflachungen »Kuppen« erscheinen. Diese Kuppen werden dadurch hervorgerufen, daß die Rückbewegung (Streckung) nicht unmittelbar an die Beugung ansetzt, sondern daß dazwischen eine mehr oder weniger lange Pause eintritt, welche eben die Kuppe hervorruft. Kuppen haben wir auch schon sonst gesehen und früher (S. 36) erörtert; sie treten stets bei kurzen Bewegungen auf und wurden von uns als eine Art Latenzzeit zwischen primärer und Rückstoßbewegung aufgefaßt. Und da ja auch bei der fortlaufenden Bewegung die Exkursionsweiten dauernd abnehmen, so scheint es, als ob man sich mit der Erklärung »Auftreten von Kuppen allein infolge der Bewegungs-

verkürzung« begnügen könnte. — Allein es sind doch Momente da welche es nicht erlauben, sich mit dieser Erklärung zufrieden zu geben.

Die Kuppen treten nämlich in der Ermüdungskurve schon bei Bewegungshöhen auf, bei welchen sie normalerweise noch nicht beobachtet werden, und sie erreichen auch eine Ausdehnung (die »Latenzzeit« gewinnt eine Dauer), wie sie unter regulären Bedingungen nicht gewöhnlich ist. Vielmehr scheint es, als ob die Veränderungen einem Einfluß der Ermüdung auf die Innervationsverhältnisse des Rückstoßes entspringen.

Das Phänomen der Kuppenbildung scheint, wenigstens so weit man das nach den Berichten schließen kann, identisch zu sein mit dem von Binet und Vaschide beobachteten Auftreten der »aktiven Pause«. Zwar haben diese Forscher, wie aus der vorher gegebenen zusammenfassenden Übersicht hervorgeht, mit einer leichten Belastung gearbeitet, und es wäre noch zu untersuchen, wie sich unter solchen Bedingungen die Rückstoßerscheinungen abspielen. Aus den von B. und V. gegebenen Abbildungen läßt sich nicht viel entnehmen, da die Geschwindigkeit, mit welcher die Kymographien bei ihnen rotierten, für eine genauere Darstellung der Phänomene zu gering war. Sie erschlossen die Tatsache auch nur aus einem Vergleich der Winkel. Jedenfalls ist es sicher, daß nach ihren Beschreibungen die aktive Pause sich an derselben Stelle befindet, wie die in unseren Versuchen gefundene, zwischen Kontraktion und Erschlaffung, wie die Forscher sagen, besser zwischen Beugung und Streckung; bei ihnen der Mittel-, bei uns der Zeigefinger.

Nun haben Binet und Vaschide ja auch eine Erklärung zu geben versucht für das Entstehen der aktiven Pause. Sie faßten sie auf als eine Folge der sich auch sonst im Verlauf der schnellen fortlaufenden Bewegung als Ermüdungserscheinung ausbildenden Neigung zur Dauerkontraktur. Die zur Ermüdung führende Tätigkeit bestehe in diesem Falle in einem fortwährenden schnellen Wechsel zwischen der Bewirkung von Kontraktion und Erschlaffung. Im Verlauf der Ermüdung könne dieser Wechsel nicht mehr genügend schnell bewirkt werden, die Dauerkontraktion trete allmählich ein, und als deren erstes Anzeichen die aktive Pause. — Zweifellos sind diese Tatsachen und zum Teil auch die darauf gestützten Schlüsse richtig.

Es besteht gewiß die zur Ermüdung führende Tätigkeit in einem schnellen Wechsel von Kontraktion und Erschlaffung; es ist anzunehmen, daß sich die Ermüdung durch einen Einfluß auf die Schnelligkeit dieses Wechsels bemerkbar machen wird, und es ist endlich bei diesen Versuchen leicht festzustellen, daß sich allmählich Neigung zur Dauerkontraktion entwickelt, wenn damit auch noch nicht gesagt ist, daß diese Erscheinung nur Ermüdungsfolge ist. Allein wenn wir auch all diese Tatsachen zugestehen, so scheinen sie doch nicht ohne weiteres ausreichend, um das Phänomen der Pause zwischen Beugung und Streckung vollkommen zu erklären, wenigstens für unsere Verhältnisse nicht, bei denen ohne jede Belastung gearbeitet wurde. Binet und Vaschide betrachten immer nur die Tätigkeit des einen Muskels, bzw. der einen Muskelgruppe, der Beuger. Bei ihnen ist das vielleicht nicht unerlaubt, da es möglich ist, daß auch bei ihren schnellen Bewegungen mit ganz geringer Belastung des Ergographen die Streckung nur Gewichtswirkung und nicht auf Rechnung jenes Phänomens zu setzen war, das wir als Rückstoß kennen gelernt und erörtert haben. Bei unseren Bewegungen ist das ohne Zweifel nicht möglich. Wir haben es sicher nicht mit einer, sondern mit zwei einander entgegengesetzten Muskelgruppen und deren wechselnder und antagonistischer Innervation zu tun. Es würde uns darum auch für die Erklärung der Pause nicht nützen, anzunehmen, daß die Beuger in Dauerkontraktion stehen; würden die Strecker rechtzeitig eingreifen, so müßte (falls man der Kontraktion nicht einen unwahrscheinlichen Kraftaufwand zuschreibt), wenn auch keine völlige Rückbewegung, so doch irgend ein Effekt in der Kurve hervortreten. Es müssen also während der Pause auch die Strecker erschlafft geblieben sein. Und da wir ja wissen, daß die auf die Kontraktion der Beuger nach deren Erschlaffung erfolgende Kontraktion der Strecker durch den Rückstoß bedingt ist, so muß eben in den Innervationsverhältnissen dieses Mechanismus irgend etwas verschoben sein. Es kann die Erscheinung letzten Endes doch auf die Dauerkontraktion[1]) zurückgeführt werden, insofern, als nach den

1) Über die Kontraktur von Muskeln in der Ermüdung; neuerdings auch: v. Brücke (Pflüg. Arch. 124, 1908, S. 233) und Fuchs (Jahrb. für Psych. XXX. 1910, S. 4).

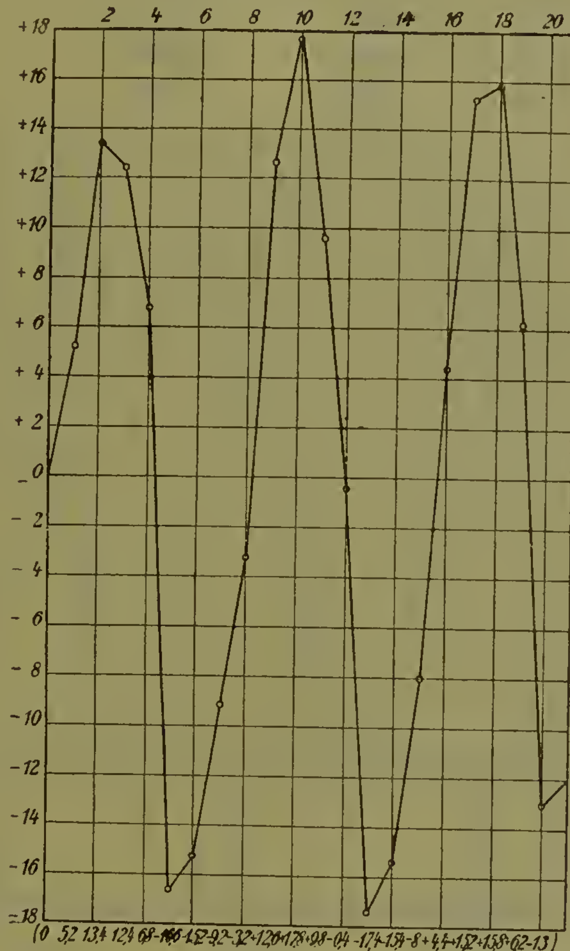
Anschauungen Sherringtons die sekundäre Induktion des Antagonisten erst dann eintritt, wenn der Agonist erschlafft. Dann würde man also auch die Erklärung von Binet und Vaschide in ihrem Kern beibehalten können. Doch wird man gut tun, bei all diesen Erwägungen sich des hypothetischen Charakters, den sie tragen müssen, bewußt zu bleiben. Festzuhalten ist vor allem, daß wir hier aller Wahrscheinlichkeit nach eine durch Ermüdung bedingte Veränderung jener unwillkürlich erfolgenden Bindung von Bewegungen, welche wir als Rückstoß bezeichnen, vor uns haben.

Allein es bleibt noch zu verstehen, warum die Kuppe immer nur an dem einen »Pol« der Kurven auftritt, in den vorliegenden Fällen also zwischen Beugung und Streckung und nicht zwischen Streckung und Beugung. So weit ich sehe, ist für diese Erscheinung nur eine Erklärungsmöglichkeit in Betracht zu ziehen. Wir haben es bei der fortlaufenden Bewegung im ganzen mit einer Willkürbewegung zu tun. Willkürlich ist sie insofern, als sie dauernd durch Willensimpulse geregelt wird. Von diesen Impulsen haben wir bereits erörtert, daß sie in rhythmisch wechselnder Weise im Bewußtsein herausgehoben und dementsprechend energiebetont werden. Aber abgesehen von diesem Wechsel der Betonung der einzelnen Impulse ist festzustellen, daß die Impulse überhaupt immer nur in einer Richtung liegen. Es ist sehr leicht, das in der Selbstbeobachtung zu kontrollieren. Vollführt man längere Zeit eine solche fortlaufende Bewegung, so kann man feststellen, daß die Willkürstöße immer an einer bestimmten Stelle eingreifen. Nach meiner eigenen Beobachtung ist es immer Beugung, die ich betone, alles übrige verläuft dunkel bewußt und mechanisiert. Das wird individuell wohl etwas variieren, sicher ist wohl aber, daß bei einer solchen fortlaufenden Bewegung der Willkürimpuls immer nur an bestimmten Stellen merklich wird und so einen sonst ziemlich mechanisch ablaufenden Prozeß gewissermaßen dirigiert. Es ist nun vielleicht möglich, auf dieses Eingreifen des Willkürimpulses den Unterschied des Verhaltens der Kurve an ihren beiden Polen zurückzuführen. Da wo der Willkürimpuls eingreift, werden die Wirkungen der Ermüdung verdeckt.

Die von Binet und Vaschide behauptete Tatsache der Dauerkontraktion wird man nur bestätigen können. Sie ist zunächst

wohl nicht nur direkte Ermüdungswirkung, sondern eine Anpassungserscheinung an die Tendenz zur Verkürzung des Weges, welche ja

G.-B.	= — 44,2	— 41,2
D.-G.	= — 11	— 10
H.-G.	= — 16,6	— 17,4
St.-Qu.	= 0,22	0,2



G.-B.	= 37,8	39,8	40,2
D.-G.	= 9,4	13,3	10,0
H.-G.	= 13,4	17,6	15,8
St.-Qu.	= 0,3	0,17	0,22

Fig. 45.

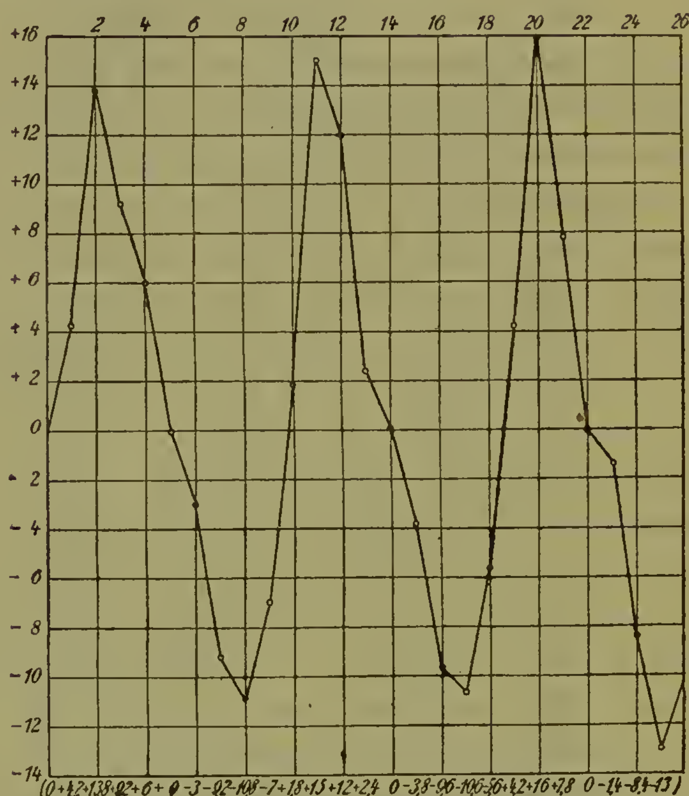
Fortlaufende, schnelle Bewegung. Ermüdungserscheinungen. Erste Sekunde, Beginn der Bewegung. Vp. J.

im Verlaufe der Ermüdung deutlich wird. Der Finger wird in einer Mittelstellung gehalten, von wo aus er nach beiden Richtungen in kleiner Amplitude bewegt wird. Späterhin kommt es dann allerdings

infolge der Erschwerung des Wechsels von Kontraktion und Erschlaffung zum Festhalten des Gliedes in Dauerkontraktion, wie das besonders in Tafelfig. 77 u. 78 sehr schön zu ersehen ist. — Die dau-

11. Sekunde.

G.-B.	= — 30	— 29,8
D.-G.	= — 7,5	— 7,4
H.-G.	= — 10,8	— 10,6
St.-Qu. =	0,36	0,36



G.-B.	= 33,2	34,4	32,8
D.-G.	= 8,3	11,5	10,9
H.-G.	= 13,8	15,0	16,0
St.-Qu. =	0,28	0,26	0,4

Fig. 46.

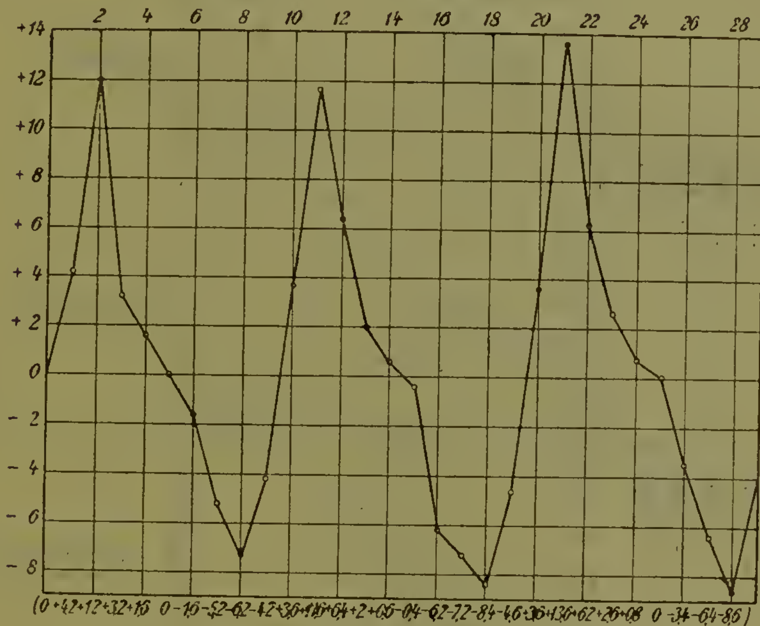
Fortlaufende schnelle Bewegung. Erste Zeichen der Ermüdung. Vp. J.

ernde Entfernung der Kurve von der Abszisse, wie sie von Binet und Vaschide als Folge der ungenügenden Erschlaffung der Beuger beschrieben ist, war auch in unseren Versuchen deutlich nachzuweisen.

Ich gebe noch einige Bruchstücke aus den Berechnungen und Vermessungen fortlaufender Kurven, welche das bisher Erläuterte noch weiter verdeutlichen. Die Textfig. 45—49 geben Geschwindigkeitskurven aus der Ermüdungsserie, aus welcher auch die Tafelfig. 70 ff.

21. Sekunde.

G.-B.	= − 18,2	− 26,8
D.-G.	= − 4,5	− 5,3
H.-G.	= − 7,2	− 8,6
St.-Qu.	= 0,5	0,5



G.-B.	= 21,0	27,0	27,0
D.-G.	= 5,2	6,7	9,0
H.-G.	= 12,0	11,6	13,6
St.-Qu.	= 0,33	0,4	0,4

Fig. 47.

Deutliche Ermüdungserscheinungen. Vp. J.

stammten. In Textfig. 45 (1. Sekunde) finden wir eine schnelle ausgiebige Bewegung, mit für diese Bewegungsverhältnisse beträchtlichen Werten und ziemlich hoher Steilheit (geringe Quotienten). In der nächsten Fig. (46, aus der 11. Sekunde der Bewegung) finden wir bereits die Anzeichen der Neigung zur Kuppenbildung. Während in der ersten Fig. der absteigende Schenkel (entsprechend dem Übergang von der Beugung in die Streckung) der steilere war, ist es hier

umgekehrt. Der aufsteigende Schenkel (entsprechend dem Übergang von Streckung in Beugung) wird steiler; in dem absteigenden tritt in der Abszisse ein Nullwert auf (=Kuppe der Tafelfig.), und der Übergang aus dem positiven in den negativen Bereich wird sehr allmählich. Diese Veränderungen finden wir fortschreitend in den nächsten Bildern

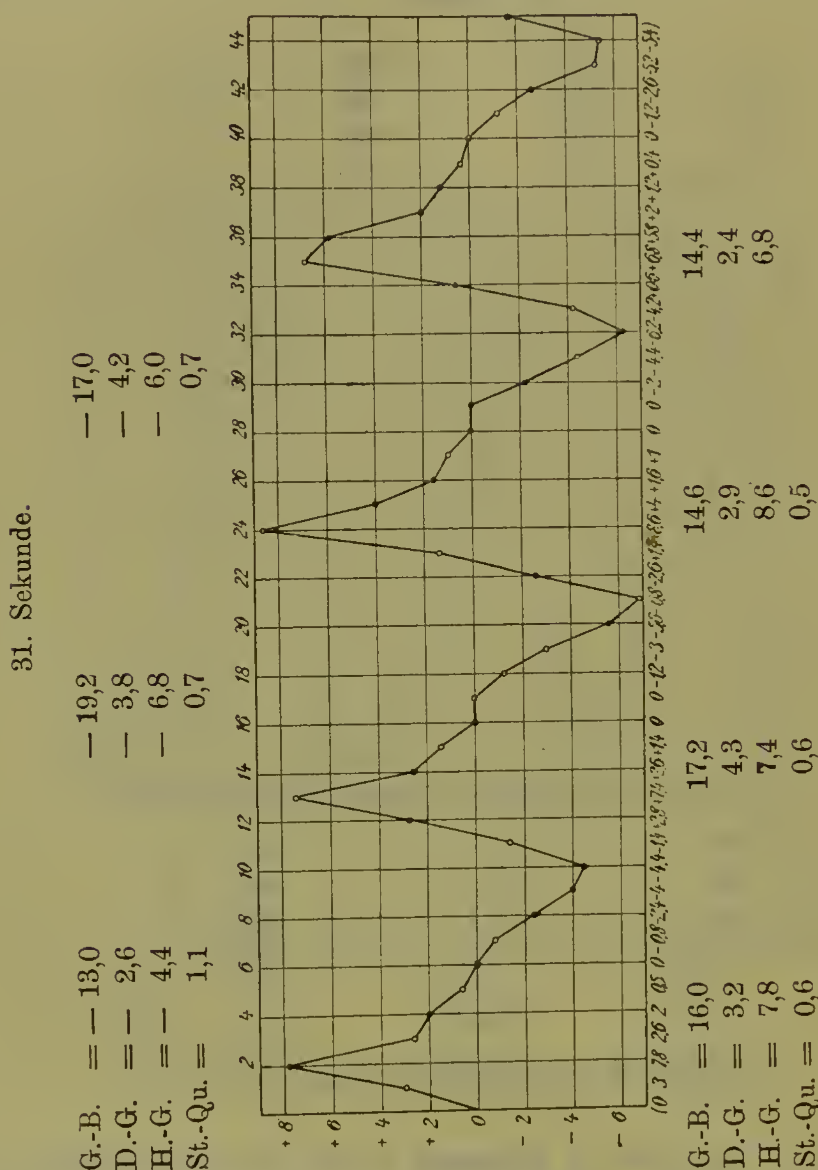


Fig. 48.

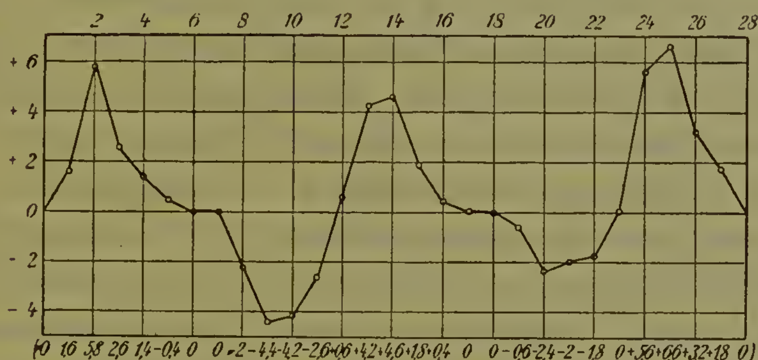
Fortlaufende, schnelle Bewegung. Ermüdung. Vp. J.

(Textfig. 47, 48 = 21. und 31. Sekunde); der absteigende Schenkel wird immer weniger abfallend, während der aufsteigende noch relativ steil bleibt. Aber alle Werte sind geringer geworden (Exkursion, Geschwindigkeiten, Steilheitsquotienten). In Fig. 48 sind auf der Abszissenlinie im Bereich der absteigenden Linie schon mehrere Nullwerte vorhanden; die Kuppe ist verlängert. Fig. 49 (34. Sek.)

zeigt noch weitere Grade der Entwicklung im Sinne der vorhergehenden Stadien. Die Nullwerte auf der Abszisse im absteigenden Schenkel sind noch vermehrt (Kuppen noch flacher und verlängert), auch der aufsteigende Schenkel hat seine Steilheit eingebüßt, an ihm treten gleichfalls Nullwerte auf (entsprechend den Kuppen, welche nun auch am unteren Pol aufgetreten sind). Alle Werte sind sehr

34. (Schluß-) Sekunde.

G.-B.	= — 13,4	— 6,6
D.-G.	= — 3,5	— 1,6
H.-G.	= — 4,2	— 2,2
St.-Qu.	= 1,0	2



G.-B.	= 11,8	10,0	20,4
D.-G.	= 2,3	2,0	5,1
H.-G.	= 5,8	4,6	6,6
St.-Qu.	= 0,6	0,9	0,8

Fig. 49.

verringert (Steilheitsquotienten gewachsen entsprechend der Verflachung).

Die Textfig. 50a und b endlich zeigen in Geschwindigkeitskurven den Beginn und den Schluß des Ermüdungsversuchs der Vp. B., von welcher die Tafelfig. 74—78 stammen. Sie vergegenwärtigen die exzessiven Veränderungen auch zahlenmäßig.

Zusammenfassung.

Auch in der fortlaufenden durch Rückstoß gebundenen Bewegung treten durch Rhythmisierung bedingte Gesetzmäßigkeiten des Verlaufs hervor; sie finden in der Form

gerade dieser Bewegungen einen leicht sichtbaren Ausdruck.

Die Bewegungsenergie und der Bewegungsumfang der fortlaufenden Bewegung halten sich im allgemeinen in mittleren Grenzen. Die individuellen Unterschiede nach dieser Richtung verwischen sich, ähnlich wie bei den fortgesetzten ruckweisen Bewegungen.

Dagegen tritt bei den fortlaufenden Bewegungen als eine neue individuelle Konstante die Zahl der in einer Zeiteinheit geleisteten Bewegungen hervor (Bewegungszahl).

Die Bewegungszahl ist nicht gleichzusetzen mit Bewegungsgeschwindigkeit; sie ist von dieser wie vom Bewegungsumfang in weitem Maße unabhängig und eine offenbar von den persönlichen Beziehungen zum Rhythmus bestimmte Größe. Sie wechselt deshalb auch bei den einzelnen Personen mit der Wahl des Rhythmus.

Es bestehen bei den einzelnen Individuen keine eindeutigen Beziehungen zwischen Bewegungsenergie und der Bewegungszahl. Auch Personen mit geringer Bewegungsenergie können hohe Bewegungszahlen haben.

Bei der in der Höhe der Bewegungszahl dem Belieben freigestellten fortlaufenden Bewegung treten Ermüdungserscheinungen nur sehr allmählich auf, sie werden schnell merklich bei maximaler Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge.

Die Zeichen der Ermüdung in der fortlaufenden Bewegung werden gegeben durch die Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit, des Bewegungsumfangs (Amplitude, Exkursion) und der Bewegungszahl. Am auffallendsten ist zunächst die Abnahme des Bewegungsumfangs. Sie wird deshalb am merklichsten, weil die Tendenz besteht, trotz abnehmender Geschwindigkeit die Bewegungszahl konstant zu erhalten. Diese wird zuletzt herabgesetzt.

Im Verlauf der Ermüdung treten in der fortlaufenden Bewegung Pausen (Kuppen) auf[1]), in unseren Versuchs-

1) Es sei erlaubt, auf die Beziehungen des Problems der fortlaufenden Bewegungen und der Kuppenbildung zu neuropathologischen Erscheinungen hinzu-

anordnungen zuerst zwischen Beugung und Streckung. Diese Kuppen sind wahrscheinlich identisch mit der von Binet und Vaschide beschriebenen »aktiven Pause« und hängen, wie es scheint, mit dem Einfluß der Ermüdung auf die wechselnde Hervorrufung von Kontraktion und Erschlaffung und deren Weiterwirkung auf den Rückstoßmechanismus zusammen. Im weiteren Verlauf der Ermüdung wächst die Neigung zur Dauerkontraktion (Binet und Vaschide).

c. Langsame, dauernd kontrollierte Bewegungen.

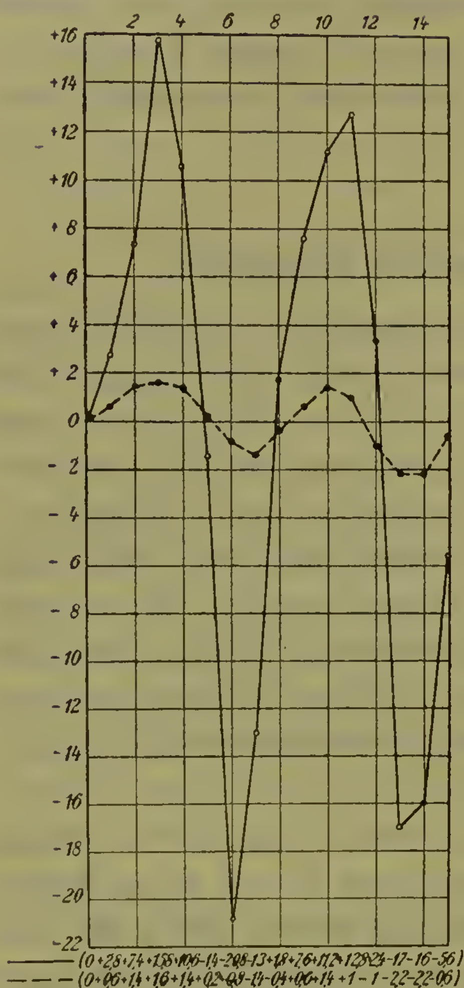
Auch über den Ablauf langsamer Bewegungen wurden Versuche angestellt, über welche ganz kurz berichtet sei. Wir begegnen im wesentlichen Gesetzmäßigkeiten, die wir schon genugsam erörtert haben, nur daß sie hier ihre spezielle Anwendung finden. Die Versuchsanordnung war eine Modifikation der bei den fortgesetzten ruckweisen Bewegungen benutzten. Es wurde nach dem Takt eines Metronoms (bisweilen auch ohne ein solches) bewegt. Es bestand die Instruktion, ganz langsame und gleichmäßige Bewegungen auszuführen, und zwar bei einem Schlage zu beugen, bei dem nächsten zu strecken. Es wurden verschiedene Geschwindigkeiten des Metronomschlages gewählt.

In den nächsten Figuren sind einige Proben der Kurven solcher Bewegungen wiedergegeben. Die Tafelfiguren 79—81 zeigen Bewegungen der Vp. J., mit der Geschwindigkeit 48, 60, 120 p. M., die Tafelfiguren 82, 83 stammen von Vp. Re. und repräsentieren Bewegungen nach dem Metronomschlag 60 und 120 p. M. (Zeiten in $1/_{20}$ Sek). Auch in diesen langsamen Bewegungen treten rhythmische Wirkungen hervor. Der Aufstieg und der Abstieg der Kurve werden hier gleichfalls ungleich, der eine steiler wie der andere, je nach der rhythmischen Betonung[1]. Mit Zunahme der Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge der Bewegungen treten diese Unterschiede

weisen, vor allem zu der Adiadochokinese, vielleicht auch zu der skandierenden Sprache. u. a.

1) Die Geschwindigkeitskurven Textfig. 51—53 (Vp. J.) zeigen diese Verschiedenheiten noch deutlicher, als sie in der Bewegungskurve wahrzunehmen sind.

b - - -	G.-B.	= — 2,6
	D.-G.	= — 0,8
	H.-G.	= — 1,4
	St.-Qu.	= 2,1
a ——	G.-B.	= — 35,7
	D.-G.	= — 12
	H.-G.	= — 21
	St.-Qu.	= 0,2



a ——	G.-B.	= 36,6	36,8
	D.-G.	= 9,1	7,3
	H.-G.	= 15,8	12,8
	St.-Qu.	= 0,22	0,3
b - - -	G.-B.	= 5,2	3,0
	D.-G.	= 1,0	1,0
	H.-G.	= 1,6	1,4
	St.-Qu.	= 3	3,5

Fig. 50a und b.

Geschwindigkeitskurven aus der Ermüdungsserie B (Fig. 74 ff.). 50a Beginn, 50b Schluß der Beweg.-Reihe.

deutlicher hervor, bis die Bewegung beginnt, einer »ruckartigen« zu gleichen.

Rückstoß tritt bei diesen Bewegungen infolge der geringen Geschwindigkeiten nie auf, wohl aber ist eine andere besondere Eigenschaft, die an diesen Kurven hervortritt, noch zu erörtern. Es handelt sich um eigenartige Schwankungen der Bewegung, wie sie besonders in Tafelfig. 82 sehr deutlich sichtbar werden, wie sie aber auch sonst bei diesen Bewegungen gewöhnlich festgestellt werden konnten. Schon Loeb und Koranyi haben diese Erscheinungen gesehen. Sie konnten feststellen, daß, wenn in ihrer Versuchsanordnung die Dauer der Bewegung eine gewisse Größe (beiläufig 2 Sek.) überstieg, sich in der Kurve in größeren Intervallen einzelne Erhebungen und Senkungen zeigten, gerade als ob neue Impulse erteilt worden wären. Die Forscher verwiesen auf die Ähnlichkeit der Verhältnisse bei den langsamen Augenbewegungen, welche gleichfalls in absatzweisen Zuckungen vor sich gehen.

Auch Goldscheider hat in seinen Untersuchungen über Muskelsinn und Ataxie (Gesamm. Abhandlg. Bd. II, Leipzig 1898, S. 68 ff.) Kurven aufgezeichnet, welche die oben erörterte Erscheinung zeigten. Sie wurde stärker und nahm besondere Formen an, unter dem Einfluß der Anästhe-

sierung, trat aber auch in sehr merklicher Weise auf bei exzessiv langsamen Bewegungen, welche das peripherische Bewegungsgefühl zu vermeiden suchten. Goldscheider zieht das antagonistische Zusammenwirken zur Erklärung der Erscheinung heran. »Die antagonistische Synergie ist es, welche wir verantwortlich machen müssen. Unter dem Bestreben die Lokomotion äußerst langsam zu machen, wird die Widerstandsleistung des Antagonisten relativ stark sein.« Dadurch entstehen Pausen, in denen sich die Innervation des treibenden und des hemmenden Muskels das Gleichgewicht halten. »Vorsichtig wird im ersteren der Impuls gesteigert, bis in einem bestimmten Moment ein merkliches Übergewicht erzielt wird und damit ein Ausschlag erfolgt. Dasselbe produziert ein Bewegungsgefühl, welches wir nicht wünschten, und so beginnt der tonische

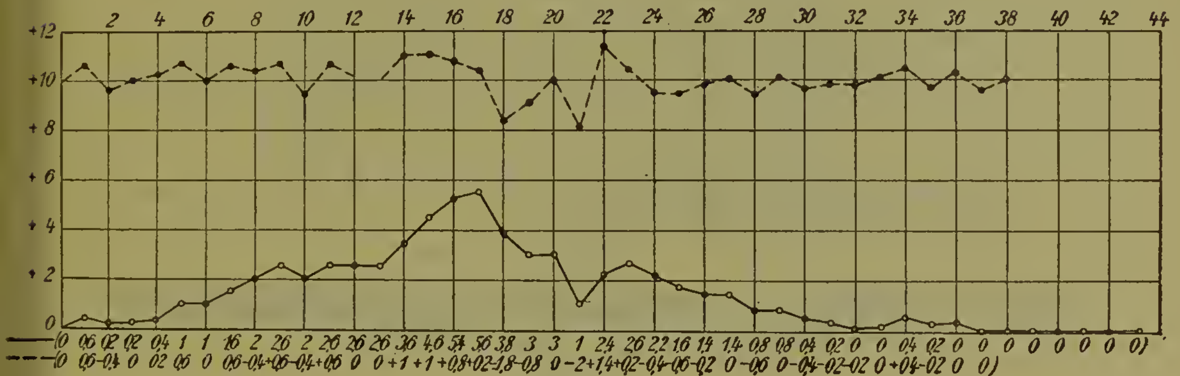


Fig. 51.

Langsame Bewegung. Beugung. Oben Beschleunigungs-, unten Geschwindigkeitskurve. Tempo 60 p. M. Abszisse $^1/_{40}$ Sek.

Krampf von neuem, um wiederum nach einer Phase gegenseitiger Zuspitzung mit einer Lokomotion zu enden und so fort«[1]). Dagegen soll, wenn wir uns mehr durch die Bewegungsempfindung leiten lassen, schnell eine definitive Einstellung gewonnen werden, so daß vorzunehmende Änderungen sich den Änderungen der Bewegungsempfindung anpassen. So kommt es bei solchen Bewegungen, daß hauptsächlich der Anfang, wo die Verteilung der Impulse erst nach der Bewegungsempfindung getroffen wird, die Absätze zeigt. — Diese Erklärung Goldscheiders ist gewiß geeignet, einen Teil der Momente aufzuhellen, welche die beobachteten Schwankungen erklären. Bei

1) a. a. O.

ganz langsamen Bewegungen müssen naturgemäß die Bewegungsempfindungen zurücktreten, und damit kann dann der von Goldscheider angegebene Mechanismus wirksam werden. Jedenfalls spielen für den Ablauf der langsamen Bewegungen die Empfindungen eine ganz andere Rolle als in den schnellen, nach Amplituden und Geschwindigkeit freigestellten, bei denen im wesentlichen reproduktive Elemente bestimmend sind. (Auf die corrections postérieures der begrenzten Bewegungen, für welche natürlich Empfindungen sehr wesentlich sein müssen, ist ja früher besonders Rücksicht genommen.) Daß aber auch für die langsamen Bewegungen in den Eigenheiten ihres Ablaufs noch andere, mehr reflektorische Momente der antagonistischen Innervation in Betracht zu ziehen sind, hat auch Goldscheider gesehen, indem er auf die Bedeutung der Dehnung der Muskeln und

Fig. 52.

Langsame Bewegung. Streckung. Oben Beschleunigungs-, unten Geschwindigkeitskurve. Tempo 60 p. M. Abszisse $1/40$ Sek.

Sehnen und der auf diese hin eintretenden reflektorischen Verkürzungen hinwies. Nach den seit Goldscheiders Untersuchungen gemachten Erfahrungen dürfen wir annehmen, daß komplizierte antagonistische Innervationsverhältnisse den Ablauf solcher langsamen Bewegungen mit bestimmen. Wie wir uns aber auch im einzelnen die Bedingungen und den Mechanismus dieser Innervationsetappen vorstellen mögen, so werden wir doch jedenfalls bei diesen langsamen Bewegungen ein dauerndes »moderierendes« Eingreifen der Antagonisten annehmen müssen, für das uns die Kurvenschwankungen Stationen der Regelungen der Innervationen angeben. Über die Art der Synergie sind vorläufig noch verschiedene Anschauungen möglich; hier ist vorwiegend zu betonen, daß der Rückstoß bei all diesen

Impulsen vermieden ist; offenbar weil hier die Tätigkeit des Antagonisten eine andere ist, als bei der schnellen, abrupten Bewegung, bei welchen er aller Wahrscheinlichkeit nach schnell außer und dann plötzlich in Funktion tritt. Hier ist das Gleichgewicht zwischen den entgegengesetzt wirkenden Kräften nur wenig verschoben und jederzeit leicht herzustellen, so daß die Bewegung überall leicht und auf der Stelle abgebrochen werden kann. Auf diese Punkte hat Rieger schon ausgiebig hingewiesen.

Ich füge zum Schluß zur weiteren Bekräftigung dieser Überlegungen noch zwei Geschwindigkeitskurven von langsamen Bewegungen der Vp. J. an (Textfig. 51—53), welche uns die eben erörterten Tatsachen noch deutlich vor Augen führen: die Verschiedenheit der

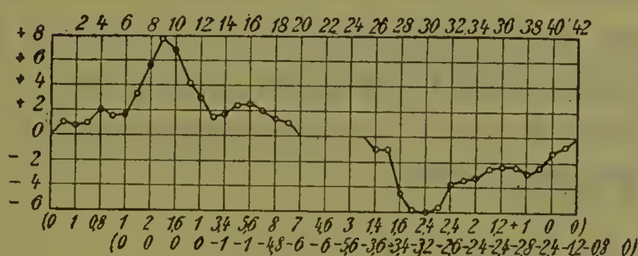


Fig. 53.

Langsame Bewegung. Beugung und Streckung. Geschwindigkeitskurve. Tempo 120 p. Sek. Abszisse $1/40$ Sek.

motorischen Energie der Hin- und Rückbewegung nach der Betonung, die unregelmäßige Art des Geschwindigkeitsverlaufes, die Vermeidung des Rückstoßes und, was wieder in Erinnerung gerufen sein mag, die bisweilen beträchtliche Annäherung an das von Loeb und Koranyi angegebene Gesetz von der Einhaltung einer konstanten Geschwindigkeit in dem mittleren Teil der Bewegung.

Über individuelle Differenzen sind bei diesen Versuchen nicht genügend Erfahrungen gesammelt worden, da sie nicht in zureichend großem Umfang und an einer zu geringen Anzahl von Versuchspersonen angestellt worden sind.

Schluß.

»Daß die gesamte Pathologie der Geisteskranken in nichts anderem besteht, als den Besonderheiten ihres motorischen Verhaltens«,

dieser Satz Wernickes[1]) enthält gewiß eine fundamentale Wahrheit, wie sehr er auch, einseitig verstanden, zu verkehrten Auffassungen psychopathologischer Erscheinungen führen kann und geführt hat. Um Vorbedingungen zu schaffen, daß der übergroßen Bedeutung, welche das Problem unserer Bewegungen für die Psychopathologie hat, dereinst Genüge getan werden könne, erstrebten die vorstehend abgehandelten Untersuchungen zunächst einige Orientierung auf normalem Gebiete zu gewinnen.

Die Zukunft wird lehren müssen, wie weit von den gewonnenen ersten Einblicken aus sich weitere Verwertungen für die normale und pathologische Psychologie ergeben werden. Vorerst freilich erscheint die Fülle ungelöster Fragen noch auf dem Gebiete normaler Bewegungen sehr groß. Aber es ist nicht verwunderlich und darf nicht entmutigen, wenn in einer jungen Wissenschaft auf dem Wege zu einem fernen Ziel die Entfernung, welche noch zu durchmessen bleibt, mehr Eindruck macht, als die wenigen Schritte, welche zurückzulegen etwa gelingen konnte.

1) Grundriß der Psychiatrie 1. Aufl. S. 13.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Tafelerklärung.

Tafel I.

Fig. 1. Rückstoßkurve. Kleine negative Vorbewegung. Aufsteigender Schenkel = Beugung. Im spitzen Winkel anschließend Rückstoßstreckung. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 2. Rückstoßkurve. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.

Fig. 3. Rückstoßkurve. Vp. Sp. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 4. Kurze Bewegung mit doppeltem Rückstoß; Pausen zwischen den einzelnen Bewegungen. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 5. Kurze Bewegung mit Pause vor dem Rückstoß. Vp. Pl. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 6. Umfangreichere Bewegung ohne Pause vor dem Rückstoß. Vgl. mit Fig. 5. Vp. Pl. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 7. Kurze Bewegung. Pause vor dem Rückstoß. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.

Fig. 8. Umfangreichere Bewegung mit Rückstoß. Keine Pause. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.

Fig. 9. Dickenkurve Biceps (Strecken). Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 10. Dickenkurve Biceps (Strecken). Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 11. Dickenkurve Biceps (Beugen). Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Tafel II.

Fig. 12. Oben Dickenkurve des Biceps, unten Bewegungskurve des Unterarms, die zu gleicher Zeit aufgenommen wurde. Bei der Kurve des Unterarms bedeutet der Aufstieg Streckung. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 13. Fortlaufende Bewegung (obere Reihe) mit Rückstoßbenutzung. Untere Reihe: Einfache Einzelbewegung mit Rückstoß. Vp. J. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.

Fig. 14. Obere Reihe: Fortlaufende Bewegung mit Rückstoßbenutzung; untere Reihe: Einzelbewegung mit Rückstoß. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 15. Bewegung mit betontem Rückstoß. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 16. Gehemmte Bewegung. Instruktion: Schnell bewegen, Rückstoß unterdrücken. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 17. Gehemmte schnelle Bewegung. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 18. Gehemmte schnelle Bewegung. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Tafel III.

Fig. 19. Schnelle Bewegungen bis zum Anschlag im Gelenk. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 20. Schnelle Bewegung bis zum Anschlag im Gelenk. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.

Fig. 21. Schnelle Bewegung bis zum Anschlag im Gelenk. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 22. Streckbewegung mit doppeltem Rückschlag. Kleine Pause jedesmal vor Beginn des Rückstoßes. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 23. Strecken mit Rückstoß. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 24. Bewegungen, die sicher nicht durch Rückstoß verbunden sind. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 25. Hin- und Rückbewegung, vielleicht durch Rückstoß verbunden. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 26. Reaktionsbewegung mit musk. Einstellung. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.
Fig. 27. Reaktionsbewegung mit sensor. Einstellung. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.

Tafel IV.

Fig. 28. Reaktionsbewegung mit sensor. Einstellung. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.
Fig. 29. Bewegung nach Assoziation (Blut-count). Vp. Mo. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 30. Reaktionsbewegung mit sensor. Einstellung. Vp. J. Zeit in $^1/_{20}$ Sek. Vgl. Fig. 5, motor.
Fig. 31. Reaktionsbewegung mit motor. Einstellung. Vp. Sp. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 32. Zwei sensor. Reaktionsbewegungen. Vp. Sp. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.
Fig. 33 und 34. Reaktionsbewegungen mit motor. Einstellung. Vp. Kr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 35. Reaktionsbewegung mit sensor. Einstellung. Vp. Kr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 36. Bewegung nach Assoziation (Bahn-Eisenbahn). Vp. Kr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 37. Reaktionsbewegung mit motor. Einstellung. Vp. Pa. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 38. Reaktionsbewegung mit sensor. Einstellung. Vp. Pa. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 39. Störungskurve. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.

Tafel V.

Fig. 40. Störungskurve. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.
Fig. 41. »Überraschung«, andersfarbige Karte. Instr. motor. Vp. Kr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 42. »Überraschung«, schwarze Karte. Instr. motor. Vp. Mo. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.
Fig. 43. Vp. Kr. »noch mit Frage beschäftigt«. Instr. motor. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 44. Vp. Mo. abgelenkt. Zeit in $^1/_{20}$ Sek.
Fig. 45 und 46. Begrenzte Bewegungen mit offenen Augen von Vp. J. Die weiße Marke bezeichnet den Umfang, welchen die Bewegung hätte erreichen müssen, wenn sie korrekt gewesen wäre. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 47. Begrenzte Bewegung mit offenen Augen. Die Marke bezeichnet die vorgeschriebene Exkursionsweite. Vp. Tr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 48 und 49. Begrenzte Bewegungen mit geschlossenen Augen. Die Marke bezeichnet die vorgeschriebene Exkursionsweite. Vp. J. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 50. Rückstoß versucht. Vp. Kr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 51. Instr. motor.; unwillkürliche Hemmungen. Vp. Kr. Zeit in $^1/_{100}$ Sek.
Fig. 52. Multipl. Sklerose. Relat. langsame Bewegung mit Rückstoß. Vp. Me.

Tafel VI.

Fig. 53. Multipl. Sklerose. Verlangsamte Bewegung mit Rückstoß. Vp. Me.
Fig. 54. Fortlaufende Bewegung. Multipl. Sklerose. Verlangsamung, Spasmen. Vp. Me.

Fig. 55—58. Motor. Reaktionsbewegungen von Ge. (Tabes).
Fig. 59. Ruckweise, fortgesetzte Bewegung. Rhythmus ◡⏊. Bei Bewegung I ⏊ auf Beugung, bei Bewegung II auf Streckung. Verschiebungen der motor. Energie und der Pausen durch den Rhythmus. Vp. J. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 60. Fortgesetzte, ruckweise Bewegung. Unterschied der Hin- und Rückbewegung. Kleiner Rückstoß bei der ersteren. Zeitl. Verschiebung der Pausen. Vp. J. Zeit in $1/_{20}$ Sek.

Tafel VII.

Fig. 61. Ruckweise fortgesetzte Bewegung. Vp. Sp. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 62. Ruckweise fortgesetzte Bewegung. Vp. Sp. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 63. Ruckweise fortgesetzte Bewegung. 180 p. M. Vp. J. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 64. Fortlaufende Bewegung ⏊◡. Vp. J. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 65. Fortlaufende Bewegung ◡◡⏊. Vp. Mo. Zeit in $1/_{100}$ Sek.
Fig. 66. Fortlaufende Bewegung ⏊◡◡. Vp. Mo. Zeit in $1/_{100}$ Sek.
Fig. 67 und 68. Beim Zählen bewegen. »Eins, zwei«, »eins, zwei, drei«. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 69. Fortlaufende Bewegung. Vermeintlich im $^8/_8$ Takt. Vp. J. Zeit in $1/_{20}$ Sek.
Fig. 70. Fortlaufende schnelle Bewegung. 1. und 34. Sekunde. Ermüdungserscheinungen in der letzteren. Vp. J. Zeit in $1/_{100}$ Sek.
Fig. 71. Fortlaufende Bewegung. Beginnende Ermüdung. Abnahme der Höhen, Kuppen. 11. Sekunde. Vp. J.

Tafel VIII.

Fig. 72. Fortlaufende Bewegung. 21. Sekunde. Fortschreitende Ermüdung. Vp. J.
Fig. 73. Fortlaufende Bewegung. 31. Sekunde. Ermüdung. Vp. J.
Fig. 74. Schnelle fortlaufende Bewegung. 1. Sekunde. Vp. B.
Fig. 75. Fortlaufende Bewegung. 11. Sekunde. Vp. B.
Fig. 76. Schnelle fortlaufende Bewegung. 77. Sekunde. Vp. B.
Fig. 77. Schnelle fortlaufende Bewegung. 80. Sekunde. Vp. B.
Fig. 78. Schnelle fortlaufende Bewegung. 92. Sekunde. Vp. B.
Fig. 79—83. Langsame, dauernd kontrollierte Bewegungen in verschiedenem Tempo.